



Centre de Coopération Internationale en Recherche
Agronomique pour le Développement

Institut de Recherche du Coton et des Textiles
Exotiques / Division d'Agronomie

PROJET GAROUA (CAMEROUN)
Phase I : Campagne agricole 90/91

**EVALUATION ET DIAGNOSTIC
DE LA FERTILITE**

Hélène SUZOR

Juin 91

Avec la contribution financière de :

la Société **SCPA**, Paris, France

la Société **ADER**, Douala, Cameroun

la Société **HYDROCHEM S.A.**, Paris, France

la Société **SENCIM**, Dakar, Sénégal

the **KEMIRA** Company, Helsinki, Finlande

Préambule

Ce programme de recherches a été financé par le FAC (Fonds d'Aide à la Coopération), la CCCE (Caisse Centrale de Coopération Economique) et quatre firmes d'engrais : la SCPA/ADER, SENCHIM, HYDROCHEM S.A. et KEMIRA.

Il a été conduit dans le cadre du projet Garoua IRA/MESIRES, Centre de Maroua et CIRAD Nord-Cameroun.

La mise en place du dispositif et le déroulement de la campagne 1990 ont été assurés par Hélène SUZOR, en contrat à durée déterminée à l'IRCT (Institut de Recherches du Coton et des Fibres Exotiques), sous la Direction de José MARTIN, Chef du programme agronomie coton du centre IRA (Institut Camerounais de la Recherche Agronomique) de Maroua.

Une première exploration des résultats a été réalisée au Cameroun par José MARTIN et Hélène SUZOR, l'analyse a été conduite à Montpellier par Hélène SUZOR, encadrée par Eric GOZE, (1) pour la partie Biométrie et Michel CRETENET (2) pour la partie agronomie.

(1) Eric GOZE : Service Biométrie de l'IRCT

(2) Michel CRETENET : Directeur de la Division d'Agronomie de l'IRCT

Sommaire

Introduction	2
I.Problématiques et moyens mis en oeuvre	2
1.1. Problématique au niveau du développement	2
1.2. Problématique au niveau de la recherche	3
1.3. L'enquête fertilité des sols : descriptif	4
1.3.1. Présentation de la zone d'étude	4
1.3.2. dispositif	9
1.3.3. conduite des essais	11
1.3.4. observations réalisées	12
II.Exploration des résultats	13
2.1. 1 ^{ère} exploration "brute"	13
2.2. Traitement statistique des données	24
2.2.1. Validation des données en vue de leur exploitation statistique	24
2.2.2. Description de la variabilité observée	24
III.Evaluation de la part des facteurs agronomiques dans les rendements observés	32
3.1. Variables agronomiques identifiées et testées pour leur poids dans l'élaboration du rendement	36
3.2. régression multiple progressive	36
3.3. Elaboration de nouvelles variables	38
Conclusions de la campagne 1990 et orientations de programme	42

Evaluation et diagnostic de la baisse de fertilité des sols de la région de Garoua (Cameroun)

Introduction

Lors des rencontres d'agronomie de Maroua (Nord-Cameroun) en Octobre 89, la SODECOTON (Société de développement de la culture cotonnière) manifeste ses inquiétudes face à la dégradation de la fertilité des sols en plusieurs lieux de la zone cotonnière. Cette dégradation est perçue par un plafonnement ou une baisse des rendements, elle ne permet plus dans certains cas une rentabilisation des programmes d'intensification vulgarisés par le développement.

Face à ces préoccupations, la recherche propose et met en place pour la campagne 90 une "Enquête Fertilité" dont nous exposons ici les premiers résultats.

I. Problématiques et moyens mis en oeuvre

1.1. Problématique au niveau du développement

La baisse de productivité perçue par le développement traduit une dégradation des sols dans les systèmes de culture actuels.

Ces systèmes de culture correspondent à une évolution vers la sédentarisation de systèmes de production traditionnels.

Ces derniers étaient conservateurs de la productivité, celle-ci restant toujours à un faible niveau, grâce à "l'alternance de brèves et intenses périodes de dégradation physique, organique et minérale des terres par les cultures, et de longues années de régénération progressive par la jachère." (PIERI, 1989)

Ces systèmes traditionnels "qui supposent une disponibilité en terres cultivables trois à quatre fois supérieure à l'espace cultivé", ne sont plus reproductibles du fait de l'augmentation de la pression démographique et du taux d'occupation des sols conséquent (PIERI, 1989).

Les objectifs au niveau du développement sont :

- un accroissement de la production en privilégiant la composante productivité par rapport à la composante surface ;
- cette augmentation doit être durable, ce qui implique la préservation du capital sol ;
- elle doit concerner tant la culture cotonnière que les cultures vivrières des systèmes cotonniers.

Le développement est donc demandeur de solutions techniques répondant à ces objectifs, et d'une évaluation économique de ces solutions.

1.2. Problématique au niveau de la recherche

Dans cette optique d'une amélioration de la productivité, la diversité des situations observées peut se traduire par trois cas de figure, relevant de trois problématiques :

* des sols à forte potentialité, relevant d'une problématique de maintien de la fertilité

* des sols à potentialité moyenne relevant d'une problématique d'amélioration de la fertilité

* des sols dégradés en voie d'abandon par l'agriculture relevant d'une problématique de régénération (CRETENET, 1990).

Une première étape est d'évaluer à quelles causes attribuer les situations observées afin de les grouper de façon cohérente dans l'un de ces trois cas de figure.

BOIFFIN et SEBILLOTTE en 1982 définissent la notion de fertilité relativement aux fonctions que le milieu doit remplir dans le processus producteur. Les composantes de la fertilité se définissent alors comme les caractéristiques du milieu correspondant aux fonctions que le milieu doit remplir.

Dans le processus de production interviennent les conditions particulières à l'année, l'application par l'agriculteur d'un certain nombre de techniques, et les fonctions remplies par le milieu selon l'état des caractéristiques nécessaires à ces fonctions, ou état de fertilité.

Nous nous proposons d'adopter la démarche suivante :

Si l'on est capable de faire la part dans l'élaboration du rendement de ce qui revient à l'itinéraire technique et aux conditions de l'année, on considérera que ce qui reste "inexpliqué" est le reflet de la fertilité du sol (CRETENET, 1990).

C'est à partir de cette hypothèse que nous nous proposons

d'évaluer des états de fertilité, qui nous permettent de discriminer les situations de productivité observées entre les trois cas évoqués.

Selon les états de la fertilité, nous chercherons à apprécier les poids respectifs des fonctions de support physique et de réserve nutritionnelle que doit assurer le sol : diagnostic

- Principe de l'évaluation et du diagnostic :

Il repose sur un réseau dense d'essais de courbes de réponse à la fumure en milieu paysan. Ces courbes doivent permettre d'évaluer pour chaque parcelle d'essai le potentiel de production pour un niveau de fumure donné, ainsi que la capacité de réponse à l'engrais.

Aux 3 problématiques énoncées précédemment devraient correspondre 3 grands types de courbes :

- * fort potentiel de production et faible réponse à l'engrais
- * potentiel de production moyen et forte réponse à l'engrais
- * potentiel de production faible à très faible et faible réponse à l'engrais.

Selon l'hypothèse précédemment énoncée, le diagnostic se réalise en plusieurs étapes :

* évaluation du poids des facteurs cultureux sur le rendement (campagne 1990) : c'est l'évaluation agronomique des états de la fertilité du sol.

* dans le complexe "fertilité intrinsèque" restant, évaluation des poids respectifs des différentes fonctions du milieu :

- .alimentation minérale (campagne 1990)
- .support physique (campagne 1991)
- .alimentation hydrique (campagne 1991).

C'est le diagnostic proprement dit des états de la fertilité atteints.

1.3. L'enquête fertilité des sols : descriptif

1.3.1. Présentation de la zone d'étude

La SODECOTON est organisée en Régions, divisées en Secteurs, puis Zones, et Marchés (villages où est organisée la commercialisation du coton). Lorsque la SODECOTON pose le problème de baisse de fertilité des sols, quatre secteurs sont cités, trois de la région ouest-Bénoué, un de la région sud-est-

Bénoué. Pour des raisons d'unité pédologique et de capacité de travail, l'étude a été restreinte aux trois secteurs de la région ouest-Bénoué, situés dans le bassin de Garoua (figure 1).

Le secteur Sud-hamakoussou est situé au nord-ouest de Garoua, bordé à l'est par les escarpements des plateaux du Tinquelin.

Les secteurs de Djalingo et de Ngong sont au sud de la Bénoué, de part et d'autre de l'axe routier Garoua-Ngaoundéré.

Le climat est de type Soudanien, avec une pluviosité dépressionnaire dans la vallée de la Bénoué : 900 à 1000 mm.

Les sols de la zone d'étude sont essentiellement des sols ferrugineux tropicaux formés sur grès quartzeux, plus ou moins sableux et lessivés. La figure 1bis représente l'unité de terres où se situe l'étude ; sa pauvreté chimique est soulignée par les auteurs de la carte (BRABANT et GAVAUD, 1985).

Le long des "mayos" (cours d'eau) se trouvent également des sols d'apports alluviaux.

- Les systèmes de culture :

Notre étude porte sur les systèmes cotonniers.

L'unité de culture est le quart d'hectare. Ces quarts sont regroupés en blocs bornés par la SODECOTON, leur surface variant de quelques ha à plus de 100 ha.

Le bloc est en rotation biennale coton/vivrier : maïs, sorgho ou arachide.

La majeure partie des surfaces est labourée et buttée en culture attelée, quelques blocs le sont en motorisation.

Seul le coton dans le système actuel bénéficie de la fumure minérale. (Dans d'autres régions du Nord-Cameroun, une partie du sorgho est cultivé en "amélioré" avec apport de 50 à 100 kg/ha d'urée ; le maïs intensif fait ses débuts dans le sud-est-Bénoué : 100 à 200 kg/ha d'engrais complexe + 100 à 150 kg/ha d'urée.)

La fumure est régionalisée et modulée en fonction de la zone et de la date de semis. Pour la région ouest-Bénoué, les apports recommandés sont de 200 kg/ha de NPKSB (15-20-15-6-1) + 50 kg/ha d'urée pour les semis précoces de fin mai début juin, 100 kg/ha de NPKSB + 50 kg/ha d'urée pour les semis du 15 au 30 juin, pas de fumure pour les semis tardifs de juillet.

Nous proposons un bilan minéral sommaire de la rotation coton/sorgho (tableau 1), dans le cas où seul le coton reçoit de l'engrais, aux doses vulgarisées dans la région. Il y a toujours exportation des résidus de culture : brûlis des tiges de cotonniers (raisons phytosanitaires), pâturage et utilisation en construction des résidus de sorgho.

Localisation
des essais ●

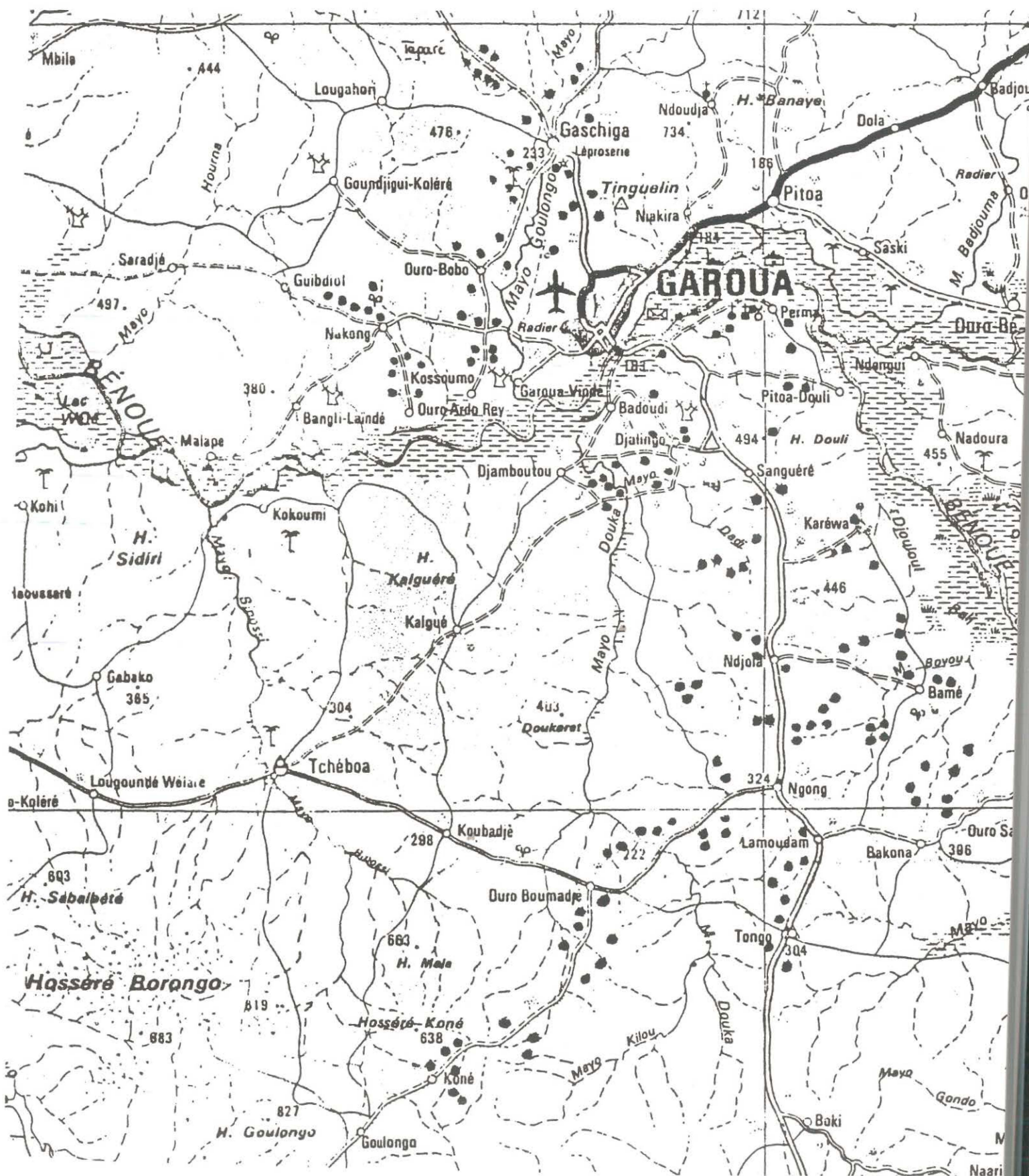
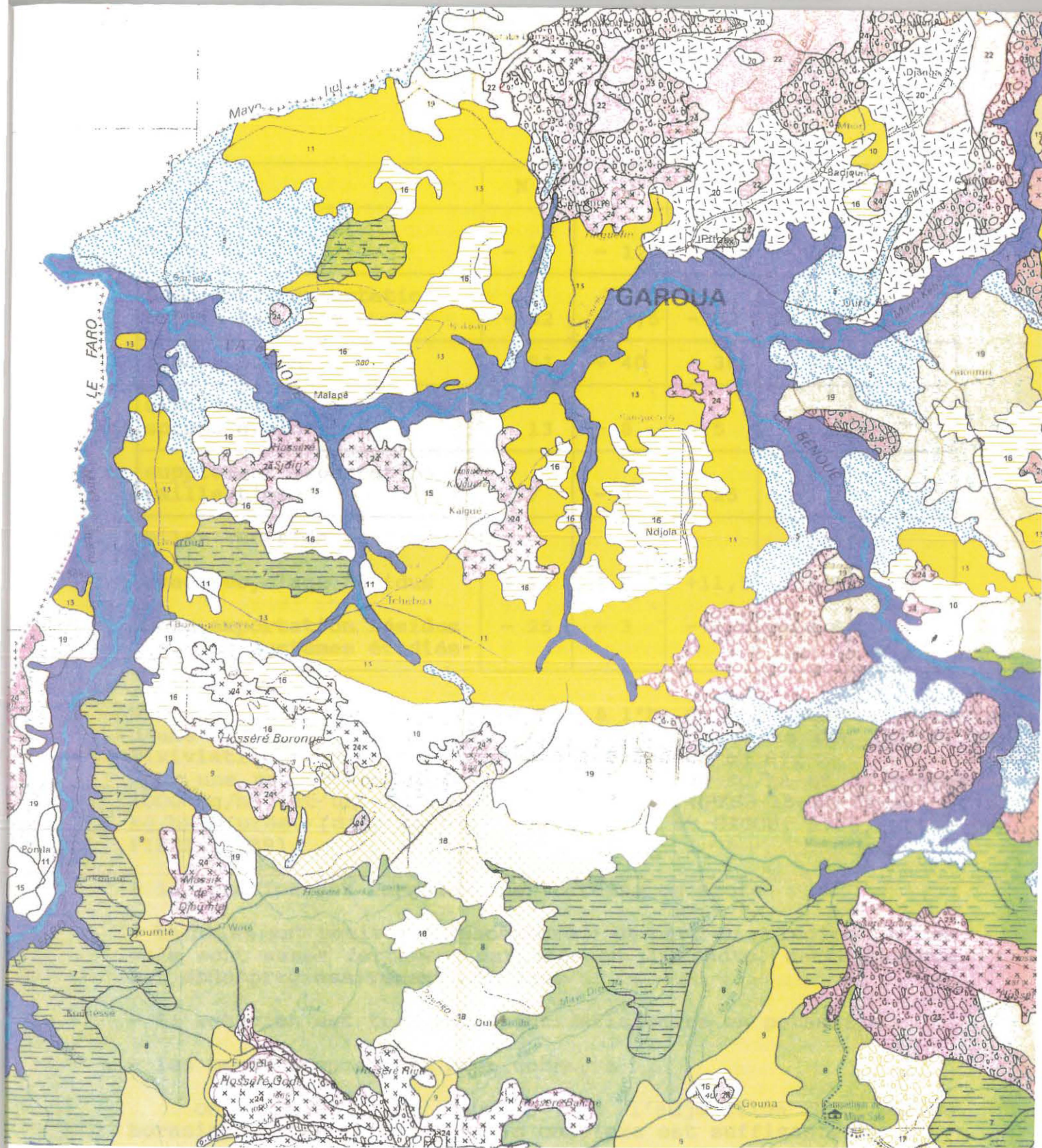


figure 1 : bassin de Garoua (zone d'étude) ; localisation des essais.

1 cm = 4 km.



13	TERRES SABLEUSES À TRÈS SABLEUSES, À TRÈS BAS NIVEAU DE FERTILITÉ CHIMIQUE, EN TERRAIN ONDULÉ AVEC DES BAS-FONDS INONDABLES.	186.800	2,30	V VI	Propriétés chimiques déficientes, faibles réserves en eau, risque de dégradation des propriétés physiques en surface
----	--	---------	------	------	--

céréales arachide pâturages	moyen à marginal	inapte sauf localement dans les bas-fonds	unité: 13 C.P.C.S. F.A.O.
-----------------------------------	------------------	---	---------------------------------

Sols ferrugineux différenciés sur grès
Luvolses chromiques, albiqnes, gleyiques

figure 1bis : carte des terres du bassin de Garoua (BRABANT et GAVAUD, 1985).

éléments	N	P205	K20	S	B203
exportation coton graine	- 26	- 12	-13,5	- 6,5	?
supplément exportation brûlis des tiges	- 32	-13,5	- 62	- 2,4	?
fumure coton	+ 53	+ 40	+ 30	+ 12	+2
exportation sorgho grain	- 13	- 8	- 5	- 1,6	?
supplément exportation paille/tiges	- 7	- 3,5	- 25	- 2,1	?
bilan rotation :					
avec recyclage résidus	+ 14	+ 20	+11,5	+ 3,9	?
avec exportation résidus cas des systèmes étudiés	- 25	+ 3	-75,5	- 0.6	?

Tableau 1. Valeurs en kg d'éléments à l'ha du bilan minéral sommaire d'une rotation coton/sorgho (non prise en compte des pertes par lixiviation en N et K et des pertes gazeuses en N). Pour une production de coton graine de 1500 kg/ha et de sorgho de 1000 kg/ha, et une fumure de 200 kg/ha de NPKSB 15-20-15-6-1 et 50 kg/ha d'urée. (d'après DEAT et al, 1976 et GIGOU, 1976, cités par PIERI, 1989).

- la rotation est largement déficitaire en azote
- le bilan est positif en phosphore ; on part du principe que ces sols sont assez fortement carencés en phosphore, cette carence est donc progressivement corrigée
- la rotation est très largement déficitaire en potassium
- les besoins en soufre sont couverts .

On considère que pour le bore l'adjonction de 1 kg de boracine par cent kg d'engrais complexe est suffisante.

Le bilan minéral de la rotation est donc déficitaire pour l'azote et le potassium dans le cas d'application de la fumure recommandée. Il l'est encore plus dans la majorité des cas si l'on considère par exemple les données de la campagne 1990 pour la région ouest Bénoué :

Pour la campagne 1990 "sur les 11.567 ha cultivés en intensif dans la région ouest-Bénoué, 50,7 % des surfaces ont reçu 100 kg/ha d'engrais complexe, 48,6 % ont reçu 200 kg/ha d'engrais complexe (dose recommandée), alors que 64 ha n'ont pas

du tout été fumés."... "La tendance est à la baisse de l'utilisation de la forte dose de la fumure préconisée afin d'éviter l'endettement excessif des paysans pour des produits trop chers et non subventionnés" (Rapports SODECOTON pour la région ouest Bénoué).

Il faut également noter au Nord-Cameroun l'absence de restitutions de matière organique sauf cas de parquage de troupeaux dans les champs en saison sèche.

1.3.2. dispositif

Les essais sont répartis depuis environ 30 km au nord-ouest de Garoua, jusqu'à une 50^{aine} de kms au sud de Garoua (figure 1).

Le dispositif est basé sur un ensemble d'essais en milieu paysan, s'appuyant sur 11 saisonniers responsables chacun d'une 15^{aine} d'essais (planche 1).

Un essai est composé d'un quart d'ha de coton, divisé en 2 répétitions. Chaque répétition comprend 5 niveaux de fumure, répartis de façon aléatoire d'une répétition à l'autre, et d'un essai à l'autre :

5 niveaux de fumure

- * témoin absolu non fumé = dose 000
 - * 100 kg/ha d'engrais complet + 25 kg/ha d'urée = dose 125
 - * 200 kg/ha d'engrais complet + 50 kg/ha d'urée = dose 250 (fumure vulgarisée)
 - * 300 kg/ha d'engrais complet + 75 kg/ha d'urée = dose 375
 - * 400 kg/ha d'engrais complet + 100 kg/ha d'urée = dose 500
- engrais complet : NPKSB 15-20-15-6-1

- choix des parcelles paysannes :

Au mois de mars, nous avons réalisé une pré-enquête auprès des agents de la SODECOTON des 3 secteurs, leur demandant de recenser (nombre et surface) les blocs de culture cultivés en coton en 88 et donc devant être à nouveau en coton en 90, ou mis en jachère. Nous leur avons demandé de les classer en 3 catégories sur la base du niveau de production : classes A, B, C (des blocs les plus productifs aux blocs à bas rendements, voire en voie d'abandon).

Nous avons également recueilli les intentions d'ouverture de nouveaux blocs pour la campagne 1990. Dans ces nouveaux blocs, il convient de distinguer d'anciens blocs repris après plusieurs années de jachère, des blocs ouverts en 1990 sur brousse. Pour chaque bloc était précisée l'accessibilité en véhicule tout terrain en pleine saison des pluies notamment.

Résultats de la pré-enquête :

Au total sont concernés :

- 3 secteurs : Hamakoussou, Djalingo, Ngong
- 9 zones : Gashiga, Pomla, Nakong (secteur Hamakoussou)
Kismatari, Djalingo, Nassarao (secteur Djalingo)
Ngong, Tongo, Tchéboa (secteur Ngong)
- 67 marchés (au sens SODECOTON)

(Pour le secteur de Hamakoussou, seules les zones de la partie sud ont été recensées, pour la zone de Tchéboa du secteur de Ngong, nous nous sommes limités à la partie est.)

Les résultats de la pré-enquête ainsi que notre échantillonnage sont résumés dans le tableau 2. A partir de la pré-enquête, les parcelles ont été repérées lors de tournées sur le terrain, le choix de paysans volontaires pour l'essai étant laissé à l'appréciation des encadreurs de la SODECOTON.

Au total, nous avons retenu 154 parcelles paysannes d'un quart d'hectare.

Dans certains blocs, nous avons retenu deux quarts (ce qui explique que nous distinguons dans notre échantillonnage la surface du nombre de blocs) : il s'agissait soit de situations topographiques contrastées au sein d'un même quart, soit de 2 parties d'un même bloc d'âges de mise en culture différents, soit de 2 parties d'un même bloc ayant régulièrement des précédents culturels différents.

Nous avons volontairement "sur-représenté" les blocs de culture classés les moins fertiles, catégorie C, puisque leur situation était l'objet des inquiétudes du développement et donc le point de départ de cette enquête.

Nous avons demandé le maintien d'un quart en culture pour l'essai chaque fois qu'un bloc était annoncé abandonné en 1990 pour cause de baisse excessive de rendement.

De même nous avons essayé d'implanter autant que possible des essais dans les blocs défrichés sur brousse en 1990 (ces nouveaux blocs sont souvent d'accès difficile).

Nous avons également choisi quelques parcelles sur sols alluviaux à titre comparatif avec les sols ferrugineux.

Il convient enfin de souligner le déséquilibre géographique entre le secteur de Hamakoussou où les blocs de classe C sont beaucoup plus fréquents d'après le recensement et dans notre échantillonnage et les autres secteurs, le secteur de Ngong au contraire sur-représentant la classe A. Cette inégalité de répartition était assez inévitable, le secteur de Ngong comprenant notamment la zone de Tchéboa où s'installent chaque année des migrants défrichant de nouveaux blocs de culture.

	secteur		classe A	classe B	classe C
% sur le nombre de blocs	Hamakoussou	(1)	36	42	22
		(2)	29	29	42
	Djalingo	(1)	30	58	12
		(2)	20	63	17
	Ngong	(1)	48	40	12
		(2)	49	36	15
% sur les surfaces	Hamakoussou	(1)	29	47	24
		(2)	29	33	38
	Djalingo	(1)	27	62	11
		(2)	18	66	16
	Ngong	(1)	40	51	9
		(2)	46	39	15
% nombre de blocs	Total des 3 secteurs	(1)	38	47	15
(2)		32	43	25	
% surface		(1)	33	54	13
		(2)	32	46	22

(1) = résultats pré-enquête

(2) = échantillon des parcelles d'essai

Tableau 2. Résultats de la pré-enquête et de l'échantillonnage sur les blocs cultivés en coton en 1988 classés par les agents de terrain de la SODECOTON en 3 classes de niveau de production, du plus élevé A, au plus faible C.

1.3.3. conduite des essais

- Epandage de l'engrais :

L'engrais complet a été épandu à la raie, soit avant le semis, dans la ligne de semis, soit à la levée, dans un sillon creusé à environ 10 cm de la ligne de semis, enfoui dans les deux cas (planche 2).

Nous cherchions dans ces deux cas de figure à optimiser l'efficacité de l'engrais par un apport dont la date soit la plus proche possible de la date de semis, tout en permettant aux saisonniers de faire face à l'ensemble des épandages dans les meilleurs délais.

Nous avons choisi un épandage à la raie afin d'assurer une meilleure régularité de l'épandage tout au long de la ligne.

Ce travail a été réalisé par les saisonniers à l'aide d'une équipe mobile de 4 manoeuvres.

La SODECOTON recommande aux paysans un épandage à la levée, l'engrais étant apporté au poquet et enfoui.

Dans la pratique, l'engrais est exceptionnellement enfoui (planche 1). Rappelons brièvement que l'absence d'enfouissement d'une part peut augmenter les pertes gazeuses d'azote, d'autre part l'enfouissement rapproche les éléments K et P, peu mobiles, des racines où ils sont absorbés.

Nous n'avons donc pas réalisé nos épandages en conditions réelles de pratique paysanne, mais dans des conditions plus favorables à l'efficacité des engrais.

- Epandage de l'urée :

L'urée a été apportée au buttage, vers 40 jours après la levée et sommairement recouvert de terre par les manoeuvres si le buttage, réalisé par le paysan, ne suivait pas immédiatement l'épandage. En conditions paysannes, l'urée est enfouie par le buttage.

- Récolte :

La récolte des lignes retenues pour la mesure des rendements a été obligatoirement faite en présence du saisonnier.

Sur 60 parcelles, des échantillons de 10 kg de coton graine des lignes des doses 000, 250 et 500 ont été achetés aux paysans en vue d'analyses technologiques de la fibre réalisées par la section génétique coton de l'IRA.

Les autres travaux culturaux ont été réalisés par les paysans, qui en échange de l'engrais fourni gratuitement s'engageaient à respecter au mieux les recommandations du développement (dates de semis, qualité des entretiens, traitements insecticides).

1.3.4. observations réalisées

- Suivi des facteurs de l'année :

Les saisonniers ont établi la fiche culturelle de la parcelle, à savoir dates et modes des différents travaux, comptages des densités de levées avant et après resemis, niveaux d'enherbement les plus fréquents possibles (environ à chaque passage dans la parcelle). L'enherbement était noté sur 5 niveaux (de propre à envahi).

Une 60^{aine} de pluviomètres étaient répartis sur l'ensemble des 3 secteurs pour un relevé journalier de la pluviométrie.



1. Essai en milieu paysan



2. L'équipement du saisonnier



3

3.4.5. Epandage de l'engrais
en conditions réelles



4



Epandage de l'engrais sur les essais

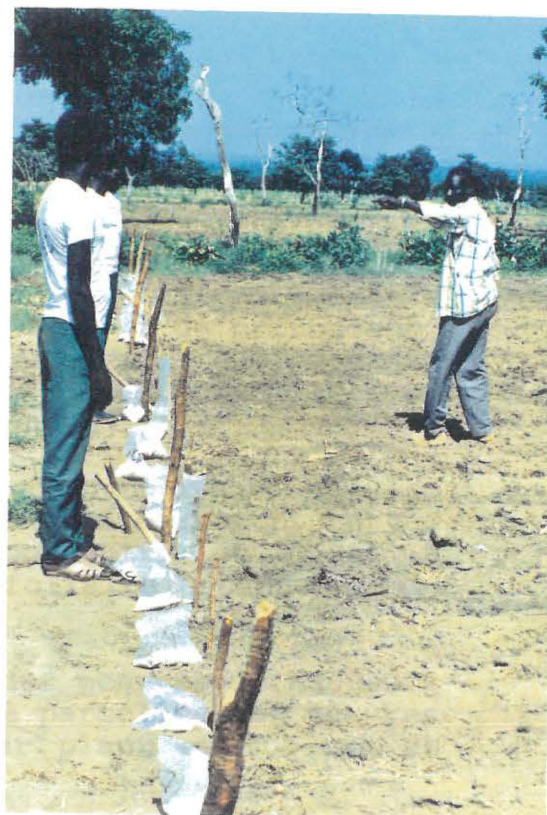
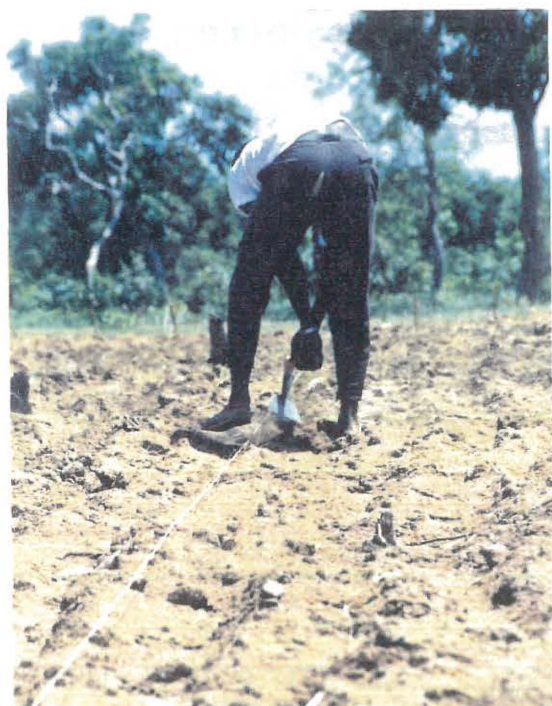


PLANCHE 2



- Composantes chimiques de la fertilité du sol :

Une équipe mobile a réalisé des prélèvements de sol dans toutes les parcelles en vue d'analyses chimiques : 9 prélèvements répartis sur le quart d'ha, à 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur. Un échantillon commun a été obtenu par mélange des 9 prélèvements pour chacune des profondeurs. Les analyses ont été réalisées au laboratoire du CIRAD à Montpellier (planche 3).

Les saisonniers ont réalisé sur les lignes ayant reçu les doses 000, 250, 500 des prélèvements foliaires également en vue d'analyses chimiques réalisées au laboratoire du CIRAD à Montpellier (méthode IRCT de diagnostic foliaire) (planche 3).

- Les saisonniers ont également réalisé des mesures de hauteurs de plants à la récolte et sur une 30^{ème} de parcelles des mesures de composantes du rendement (récolte par plant et schémas de fructification).

Une enquête sur "l'historique des parcelles" a été conduite en fin de campagne. Elle tentait de reconstituer le passé cultural des blocs de culture où nous étions implantés et des quarts d'essai.

II. Exploration des résultats

2.1. 1^{ère} exploration "brute"

Nous avons dans un premier temps exploré la variabilité des résultats obtenus afin d'en faire une première présentation aux différents collaborateurs sur place de l'enquête, notamment les responsables et agents de terrain de la SODECOTON.

Nous avons également fourni à l'issue de ce premier travail des fiches de résultats techniques et économiques (courbes de réponse et marge par rapport à l'engrais) pour chacun des 154 essais afin que ces résultats soient à la disposition des paysans ayant participé à l'enquête.

- Variabilité des rendements observés : (planche 4)

Il s'agit des rendements pour les 5 niveaux de fumure, (moyenne des 2 répétitions).

Nous fournissons figures 2, 3, 4, 5, 6 les distributions des rendements, ainsi que les rendements minimal et maximal obtenus, pour les différents niveaux de fumure.

figure 2 : distribution des rendements
Témoin

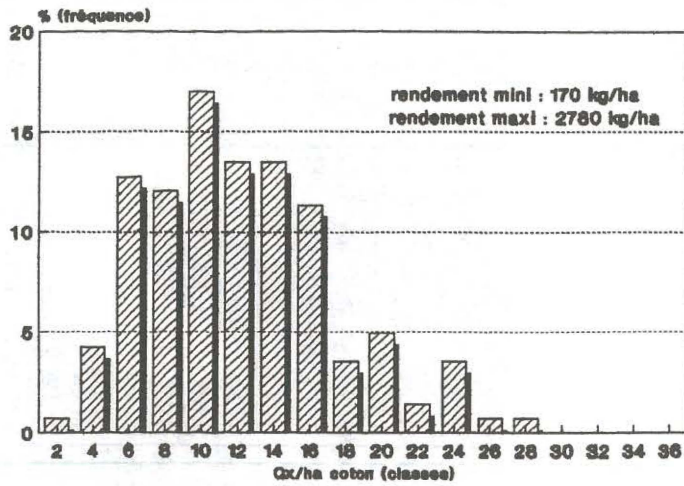


figure 3 : distribution des rendements
Dose 125

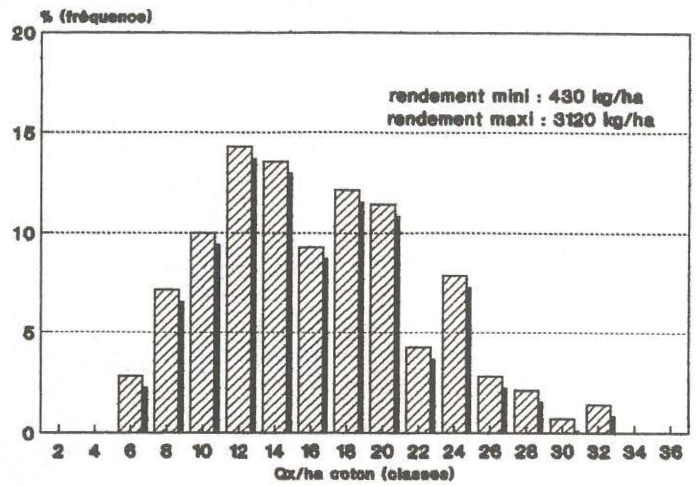


figure 4 : distribution des rendements
Dose 250

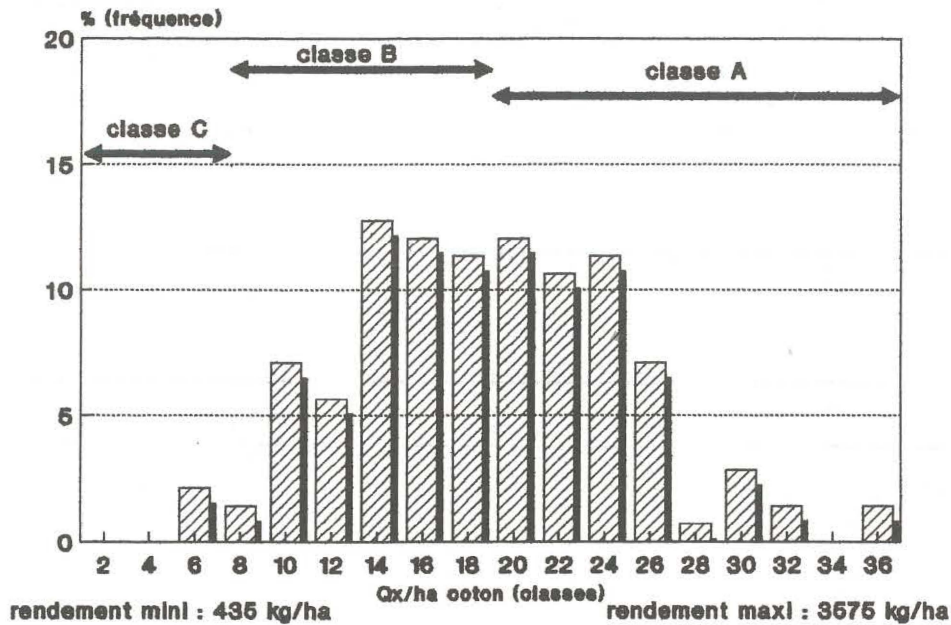


figure 5 : distribution des rendements
Dose 375

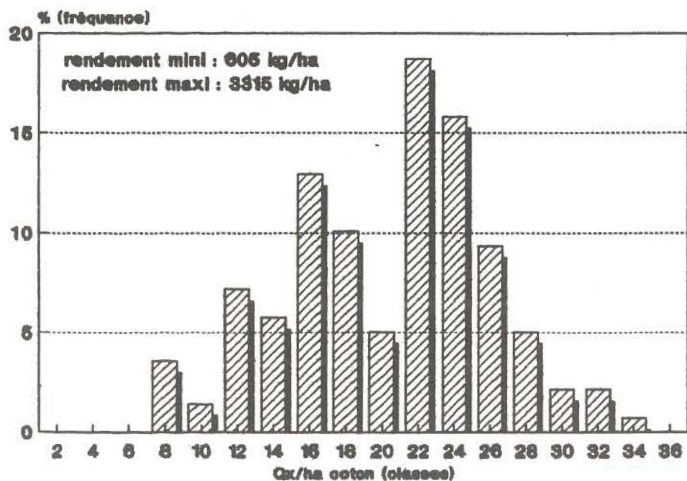
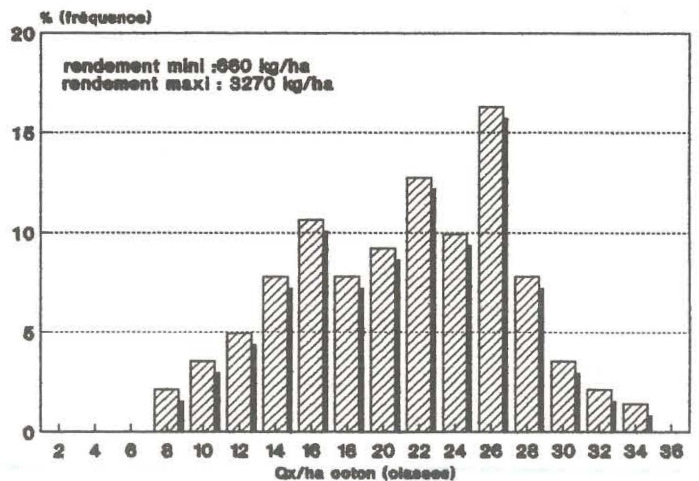


figure 6 : distribution des rendements
Dose 500





1



2

1.2.3. Prélèvements de terre



3



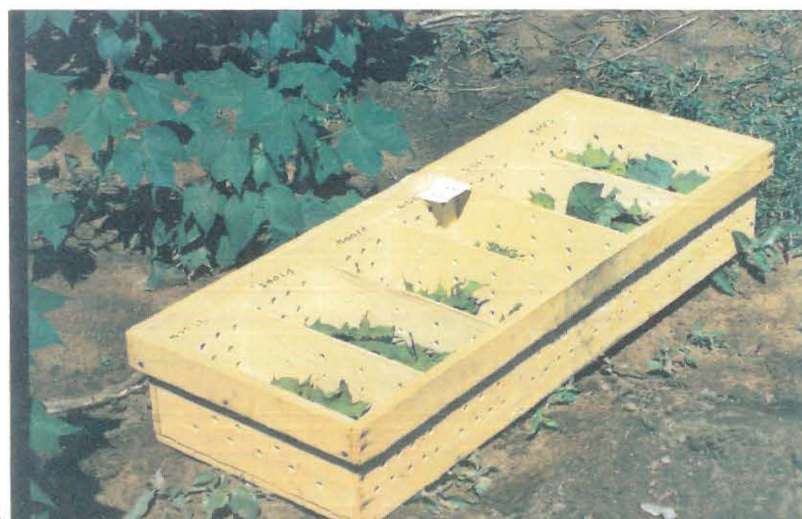
4

4.5. Prélèvements foliaires

4. Choix de la feuille

5. Transport des feuilles

jusqu'au lieu de séchage



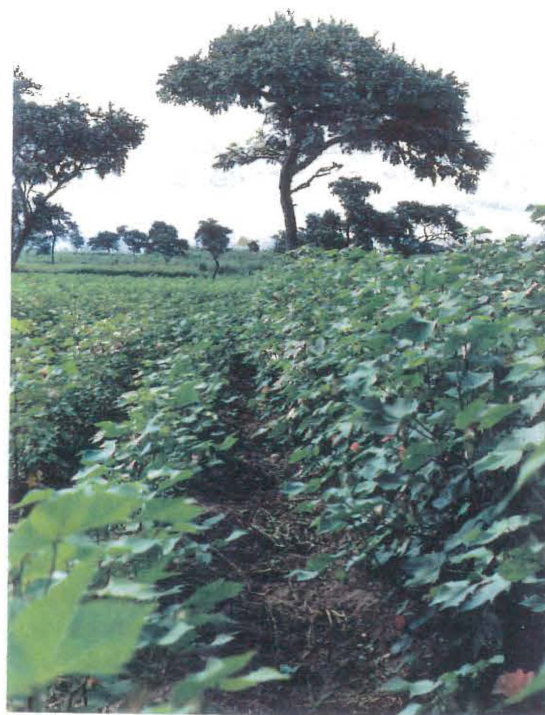
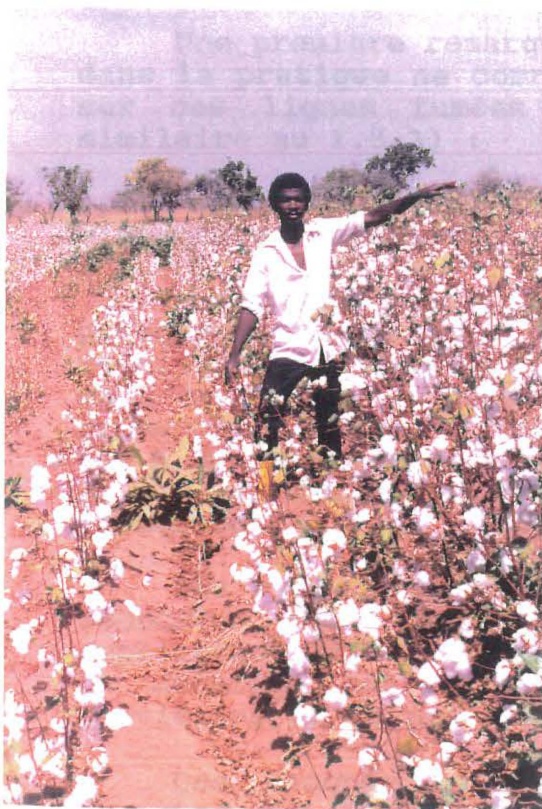
5

Effet de la dose d'engrais



1. à la levée

2. à la floraison



3. à la récolte

Notons surtout que des champs ouverts très récemment sur brousse, situés dans la zone de Tchéboa notamment, produisent plus de 2,5 T de coton graine sans fumure. Il s'agit pourtant des mêmes types de sols que dans les autres zones, et non pas de sols alluviaux qui effectivement ont des rendements plus élevés et de façon plus constante semble-t-il. Ces chiffres donnent une estimation du potentiel de production initial, l'objectif étant de fournir des solutions techniques permettant d'éviter sa dégradation inéluctable dans les systèmes de culture actuels.

Si l'on compare la distribution des rendements obtenus avec la dose vulgarisée pour les 3 classes de rendement < 800 kg/ha, de 800 à 1800 kg/ha, et > à 1800 kg/ha, aux % de notre échantillon pour les 3 niveaux de production A B C de la pré-enquête (le jugement des agents de la SODECOTON se basant théoriquement sur les niveaux de production obtenus avec la dose vulgarisée), nous constatons d'énormes différences :

rendements observés kg/ha			échantillon d'après pré-enquête		
< 800	800 à 1800	>1800	classe C	B	A
3 %	49 %	48%	22 %	46 %	32 %

(Ces 3 classes de rendement sont celles utilisées par M. CRETENET, 1990, pour définir sur la base des données recueillies en Côte d'Ivoire les 3 problématiques énoncées au 1.2.)

Une première remarque est que le niveau de fumure appliqué dans la pratique ne correspond pas à nos conditions d'épandage sur ces lignes fumées à la dose recommandée (cf remarque similaire au 1.3.3) :

- d'une part du point de vue de la technique proprement dite d'épandage (enfouissement ou non)

- d'autre part du point de vue des quantités épandues, puisque moins de 50 % des surfaces cotonnières de la région reçoivent effectivement la dose 250 et que le choix des quarts où l'on réduit la dose se base en partie sur le potentiel de production attendu : "Toute la zone frontalière avec le Nigéria est à la dose réduite ainsi que certains sols sableux de Djalingo où les rendements attendus sont médiocres"(rapport trimestriel SODECOTON).

Les rendements observés dans la pratique par les agents SODECOTON sont donc souvent loin d'être le reflet d'une application effective de la dose 250, ce qui explique en partie le décalage entre les performances de nos essais et les prévisions de la pré-enquête.

Une seconde remarque concerne la validité du jugement apporté par les agents de terrain sur les potentiels de production des terres. Il est certain qu'il n'y a pas eu d'appréciation sur la base d'un référentiel commun à toute la région d'étude, mais que ce référentiel varie beaucoup d'une zone

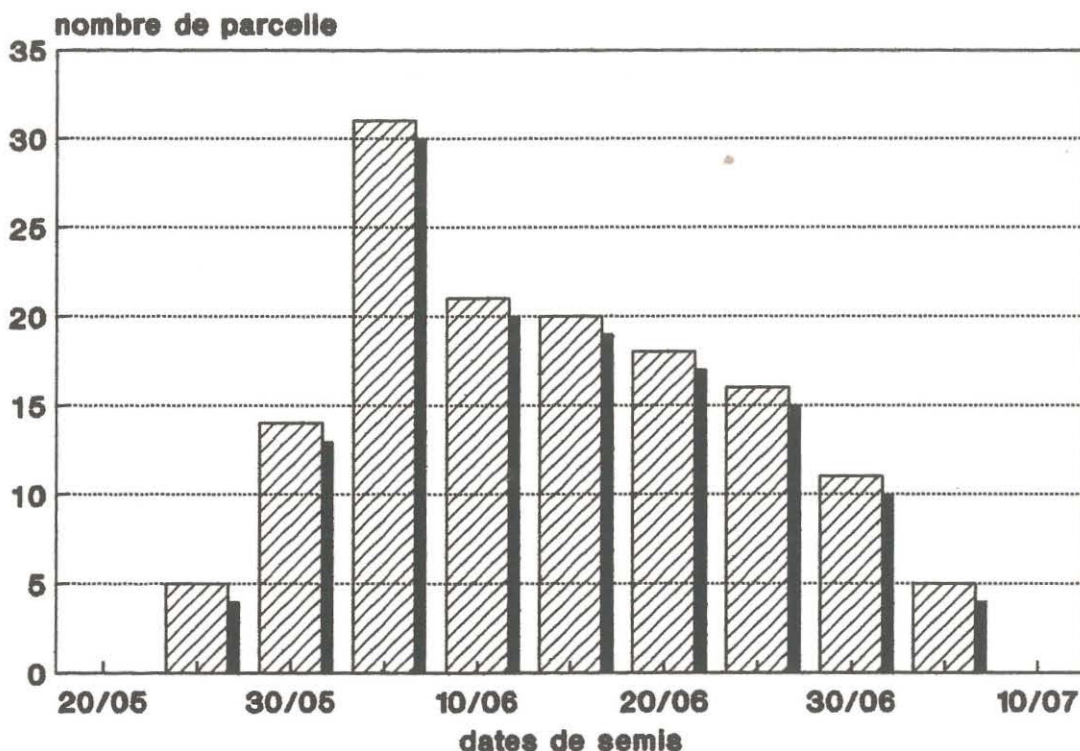
production des terres. Il est certain qu'il n'y a pas eu d'appréciation sur la base d'un référentiel commun à toute la région d'étude, mais que ce référentiel varie beaucoup d'une zone géographique à l'autre.

La pertinence de la notation varie aussi avec l'expérience de l'encadreur SODECOTON, les débuts de campagne étant régulièrement l'occasion de changements d'affectation.

Il est important d'apprécier la validité de ces notations. En effet, si l'on est amené à différencier trois problématiques pour les sols, et trois "lots de solutions techniques" adaptées, les gens de terrain devront disposer de critères d'appréciation cohérents. Nous venons d'illustrer l'importance du choix de ces critères.

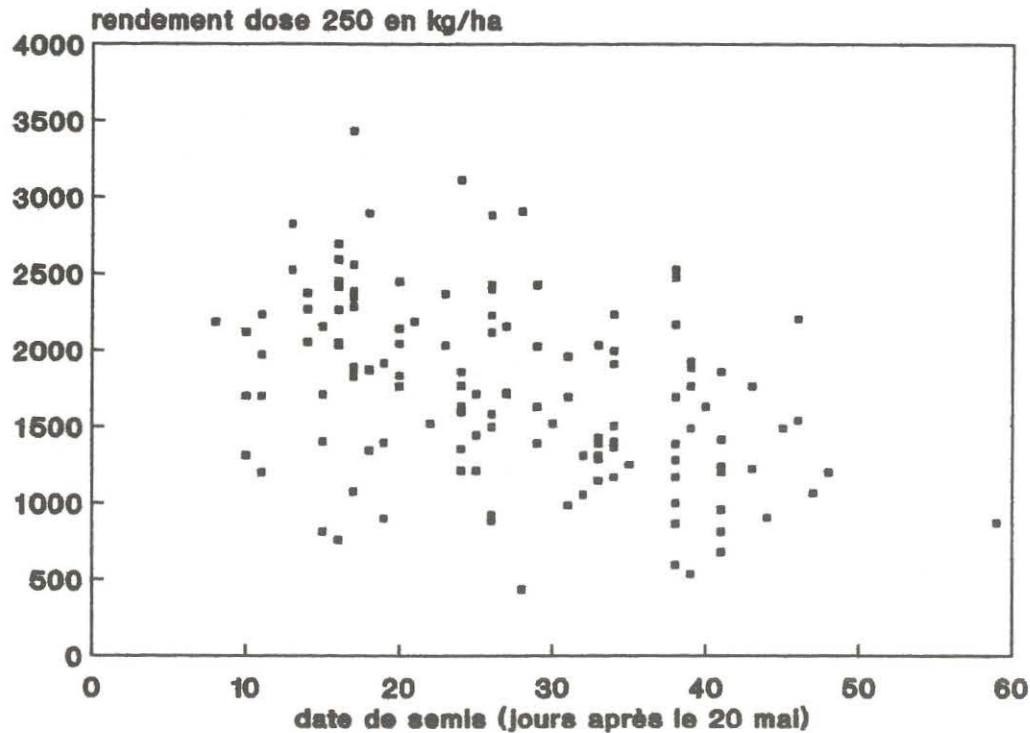
- Distribution des dates de semis :(figure 7)

figure 7 : distribution des dates de semis



Il a toujours été observé que les rendements du cotonnier sont très sensibles à l'effet date de semis, ce qui est confirmé dans nos essais par l'allure du nuage de la figure 8.

figure 8 : Influence de la date de semis



Nous cherchions à limiter au maximum cet effet.

Mais "la pluviométrie de cette année 90 est caractérisée par un premier trimestre (au sens campagne agricole, mai, juin, juillet) très irrégulier en pluies...très grosses pluies espacées (en Mai et Juin) de très longues périodes de sécheresse...précocité des pluies en mai, arrêt brusque et irrégularité des précipitations en juillet, arrêt brutal de la saison fin septembre, déficit hydrique en septembre."(extraits des rapports SODECOTON pour la région ouest Bénoué).

Les semis précoces (avant le 15 juin) ont donc été difficiles à réaliser.

Cependant par rapport aux moyennes pour la région ouest Bénoué, nos essais ont été semés à des dates correctes (cf tableau 3) :

	au 20 juin	au 30 juin	au 10 juil.	au 20 juil.
rég.O.Bénoué	50 %	75 %	94 %	100 %
quarts d'essai	64 %	89 %	100 %	

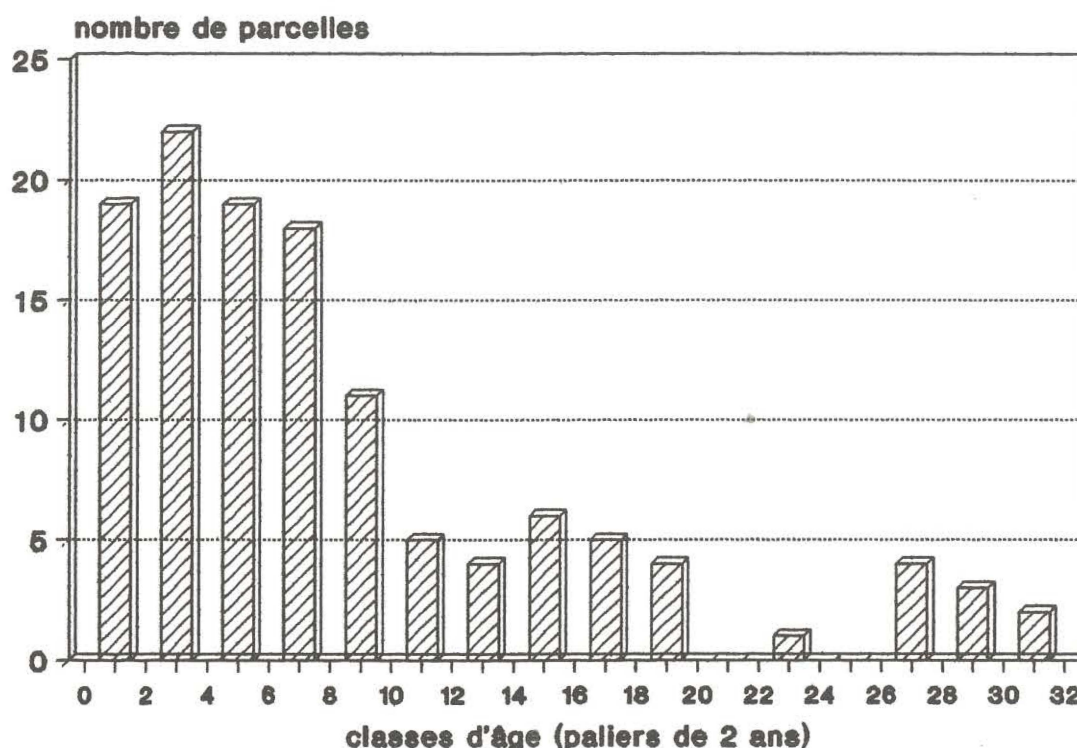
Tableau 3. Comparaison dates de semis des essais par rapport aux moyennes de la région Ouest Bénoué pour la campagne 1990. (d'après rapports SODECOTON)

- Age des parcelles :

L'enquête "historique des blocs et quarts d'essai" demande à être affinée.

Les premiers résultats sur la distribution des "âges des parcelles", que nous avons défini comme le nombre d'années en rotation coton/céréales, sont illustrés par la figure 9.

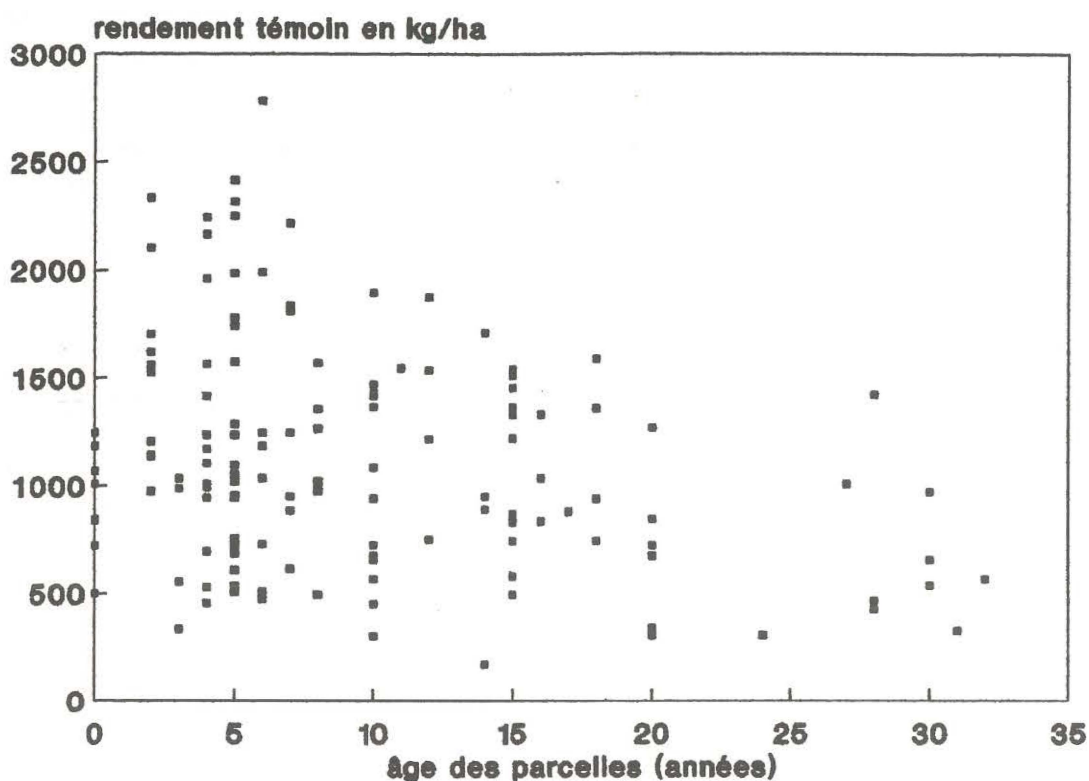
figure 9 : distribution des âges
des parcelles



Certaines des parcelles d'essai sont donc cultivées depuis plus de 30 ans selon cette rotation biennale.

L'allure du nuage de points (figure 10) représentant le rendement des lignes non fumées en fonction de l'"âge des parcelles" indique l'effet dépressif de l'âge sur le niveau de production.

figure 10 : Influence de l'âge



Ce nuage est cependant très dense à tous les niveaux de rendements pour les parcelles dites d'âge 0 à 2 ans, certaines ayant des rendements très faibles. Nous pouvons ici rappeler la remarque sur les confusions entre "nouveaux blocs sur brousse", "bloc repris sur jachère" parfois de courte durée, et surtout "première année de coton après de nombreuses années de vivrier traditionnels" (validité de notre "définition" de l'âge des parcelles ?).

Il est d'autre part possible que les sols défrichés sur brousse présentent dès le départ des potentialités différentes, ce qui devrait apparaître en croisant des données historiques fiables et des analyses chimiques et physiques de sol.

Cette notion d'âges des parcelles pourrait être un des critères d'appréciation de l'état de fertilité des sols utilisable par les gens de l'encadrement et les paysans.

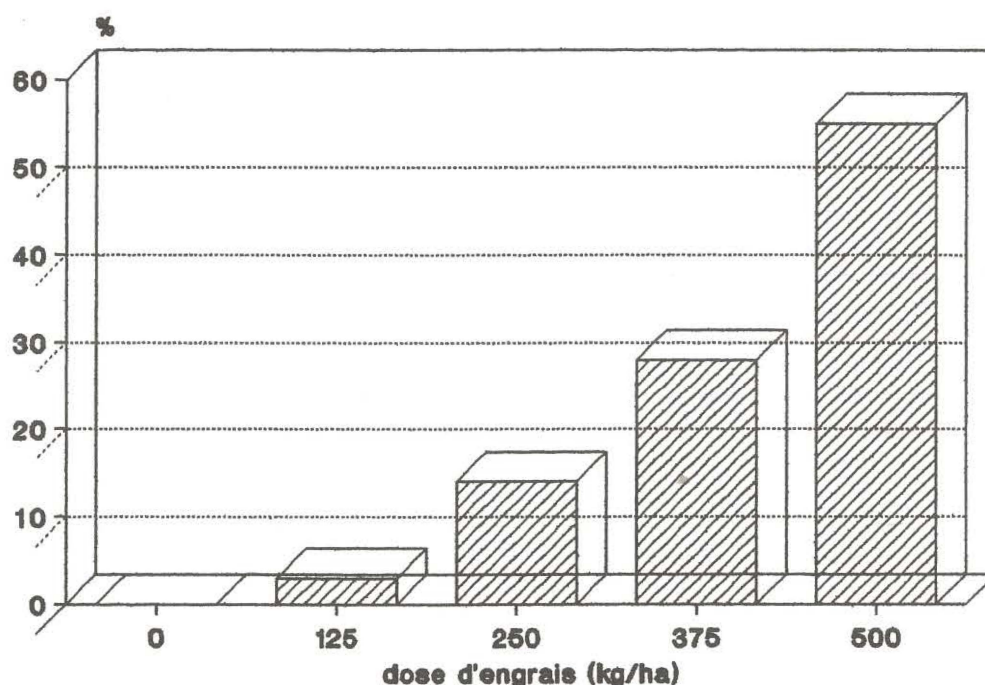
C'est pourquoi il est important d'approfondir tous ces aspects par une seconde enquête (prévue en 91/92).

- Rendements maximaux :

"rendement maximal = rendement le plus élevé obtenu sur un quart d'essai quelle que soit la dose qui a permis d'obtenir ce rendement"

La figure 11 illustre la contribution des différents niveaux de fumure aux rendements maximaux.

**figure 11 : fréquence de rendement maxi
selon la dose d'engrais**



Du point de vue des performances techniques, 83 % des champs en essai auraient cette année gagné à être fumés avec des doses d'engrais supérieures à la dose recommandée (la marge après remboursement de l'engrais est plus forte dans 83 % des cas pour des doses supérieures à la dose vulgarisée).

28 % des parcelles ont eu un meilleur rendement avec la dose 375 qu'avec la dose 500 : les courbes d'un certain nombre de parcelles à haute potentialité de production présentent en effet un maximum pour la dose 375 puis une retombée. Sans doute pouvons-nous l'expliquer par un excès de croissance végétative des cotonniers en l'absence de facteurs chimiques limitants du sol, pour la dose d'engrais 500, s'accompagnant d'un moindre chargement en capsules sur les branches les plus basses du plant (défaut de lumière notamment). Les données de composantes du rendement, en particulier les schémas de fructification, ainsi que les hauteurs de plants à la récolte, devraient nous permettre de confirmer ou non cette hypothèse (données non encore exploitées).

- Aspects économiques :

Nous nous limitons à une approche de la marge par rapport au seul coût de l'engrais, les autres charges étant considérées équivalentes pour tous les niveaux de fumure.

Remarque : Cet aspect peut être discuté. Il conviendrait en effet d'évaluer s'il n'y a pas surcroît de temps de travail et donc de main d'oeuvre :

* pour les sarclages des lignes recevant les doses les plus élevées (*Comelina benghalensis* notamment bénéficie très nettement de l'apport d'azote)

* du fait des difficultés pour les traitements insecticides en cas de cotonniers trop développés (certains dépassent 2 m à la floraison)

* nous avons observé plusieurs cas où la taille excessive des cotonniers fumés aux doses 375 et 500 a gêné le buttage en motorisation, au point qu'il a du être réalisé à la main pour ces lignes.

Calcul de la marge : Le rendement en kg/ha est converti en Francs CFA/ha et diminué du coût de l'engrais variable selon la dose d'engrais sur la base de 95 Francs CFA/kg de coton graine payé au producteur cette année pour la 1ère qualité ; 120 Francs CFA/kg d'engrais complexe ; 110 Francs CFA/kg d'urée.

Coût du forfait engrais en Francs CFA/ha :

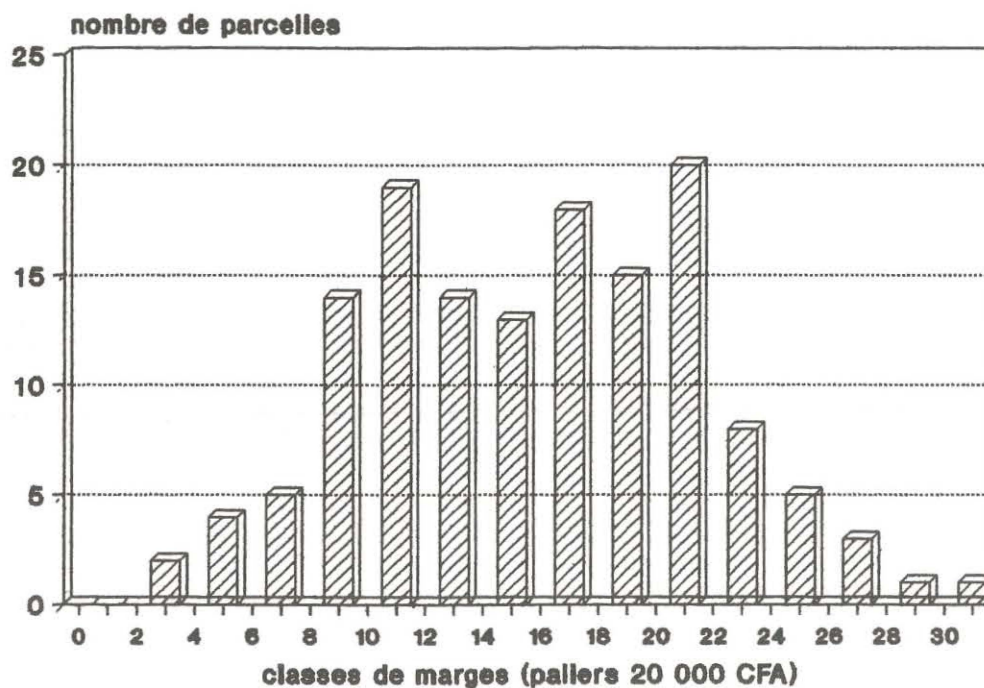
dose 125	14.750
dose 250	29.500
dose 375	44.250
dose 500	59.000

"marge maximale = marge la plus élevée obtenue sur un quart d'essai quelle que soit la dose qui a permis d'obtenir cette marge"

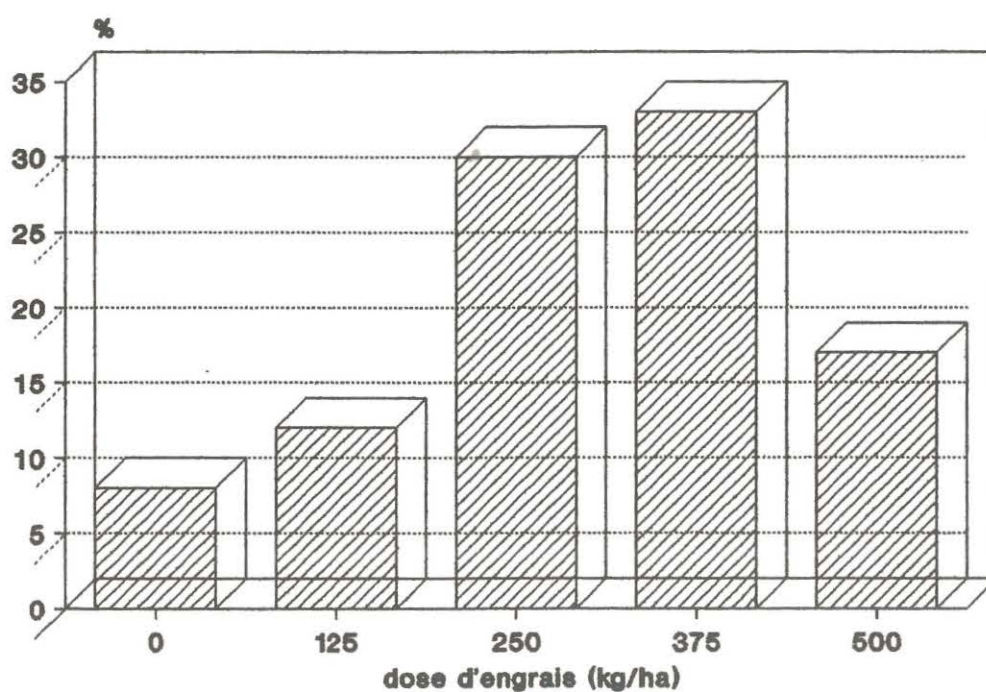
La figure 13 nous donne la distribution des marges maximales.

La figure 14 illustre la contribution des différentes doses aux marges maximales.

**figure 13 : distribution des marges
brutes maximales**



**figure 14 : fréquence de marge maximale
selon la dose d'engrais**



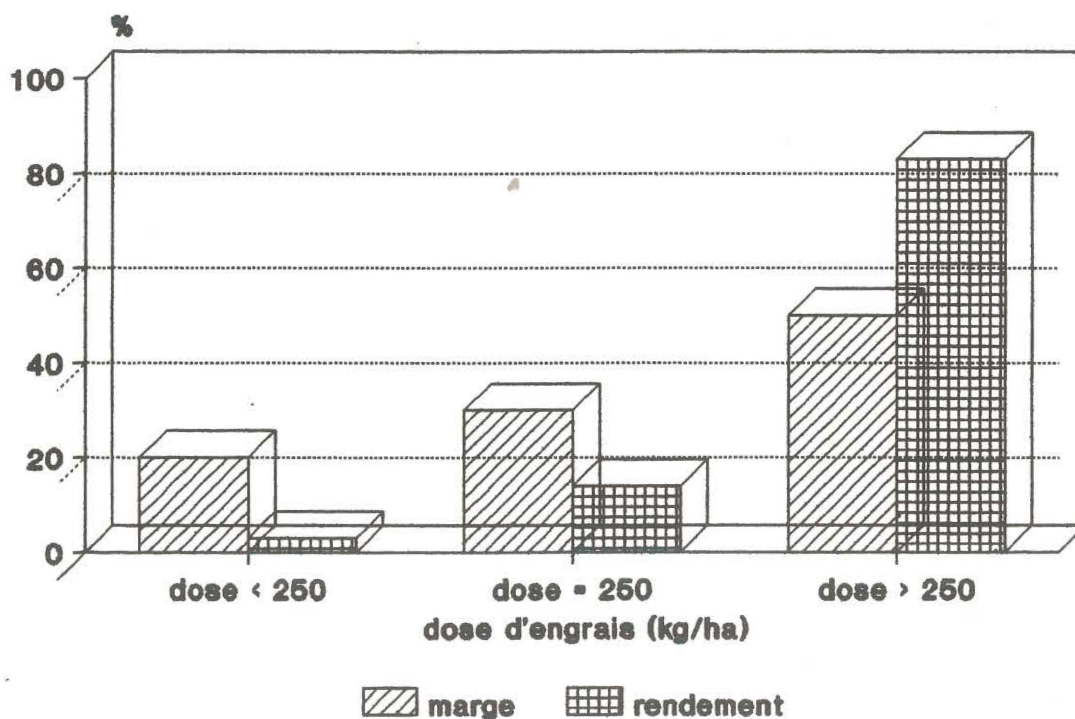
Du point de vue des performances économiques, 50 % des champs en essai auraient cette année atteint leur marge maximale pour une dose d'engrais supérieure à celle vulgarisée.

Parmi les 8 % de parcelles qui atteignent leur marge maximale sans engrais, plusieurs ont des potentiels très faibles et la marge dégagée ne permet pas ou à peine de faire face notamment aux frais des traitements insecticides. Ces parcelles ne peuvent donc plus être cultivées dans leur état actuel de dégradation.

La figure 15 reprend les figures 13 et 14 en réunissant rendements et marges maxima. Ces chiffres sont une première indication de la marge de progrès réalisable par l'optimisation de l'utilisation de l'engrais. Le problème reste d'établir des indicateurs fiables et applicables sur le terrain de discrimination des situations et donc des solutions à adopter en vue de cette optimisation.

Soulignons que ces chiffres indiquent ici une marge de progrès dans le cas d'une rentabilisation maximale à court terme de la fumure minérale, sans prise en compte d'arrière-effets sur les cultures subséquentes.

figure 15 : fréquence des marges et des rendements maxi selon la dose d'engrais



2.2. Traitement statistique des données

Après cette première phase d'exploration sommaire des données réalisée au Cameroun en vue d'une sensibilisation immédiate des collaborateurs du développement, les données ont été analysées à Montpellier (utilisation du logiciel CSTAT).

2.2.1. Validation des données en vue de leur exploitation statistique

Certaines parcelles ont été "abandonnées" suite à des inondations ou à un non respect du protocole.

Pour les autres parcelles, les courbes de réponse des 2 répétitions ont été confrontées. Elles sont le plus souvent presque parallèles (figures 16, 17, 18, 19).

Quelques cas particuliers correspondant soit à une implantation malheureuse, soit à une erreur manifeste dans les récoltes ou les pesées, ont été écartés (figures 20,21).

Sur 2 parcelles, une donnée élémentaire a été réestimée suivant la méthode de Yates (figure 22).

Enfin, sur 2 autres parcelles, une répétition a été abandonnée à cause d'une erreur probable à la récolte (figure 23).

Au total 136 parcelles ont été conservées pour la description statistique des résultats.

2.2.2. Description de la variabilité observée

Les courbes de réponse que nous avons observées lors de la validation présentent une grande diversité, aussi bien dans leur position que dans leur forme. Cependant elles ont aussi des points communs : allure générale croissante, avec une tendance plus ou moins rapide vers un plafonnement, voire une "retombée".

Nous avons tenté de résumer cette diversité à l'aide d'une méthode bien adaptée à cette situation : l'Analyse en Composantes Principales.

Chacun des 136 lieux est considéré comme un individu sur lequel on a mesuré 5 variables : les 5 rendements obtenus avec respectivement 0, 125, 250, 375, 500 kg d'engrais/ha.

Les 5 variables étant mesurées avec les mêmes unités, nous avons conservé leurs échelles originales et effectué une ACP sur leur matrice de variance-covariance (BOUROCHE et SAPORTA, 1980).

Par conséquent, les composantes principales sont directement des combinaisons linéaires des 5 rendements mesurés.

figure 16 : courbes de rendement
parcelle 19

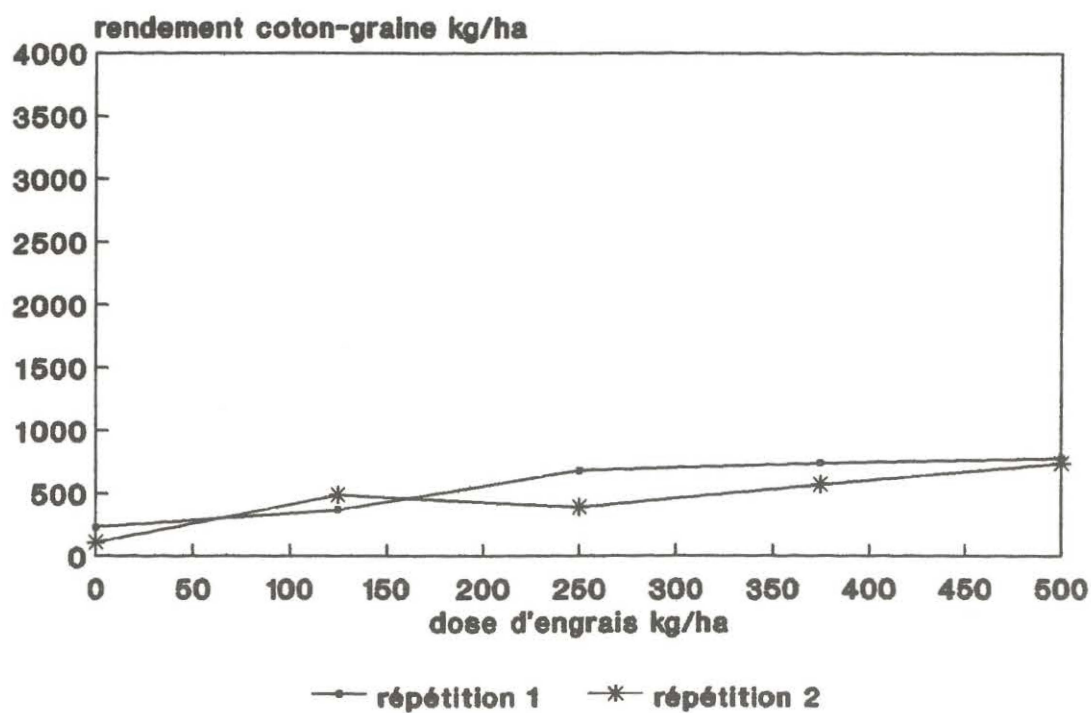


figure 17 : courbes de rendement
parcelle 159

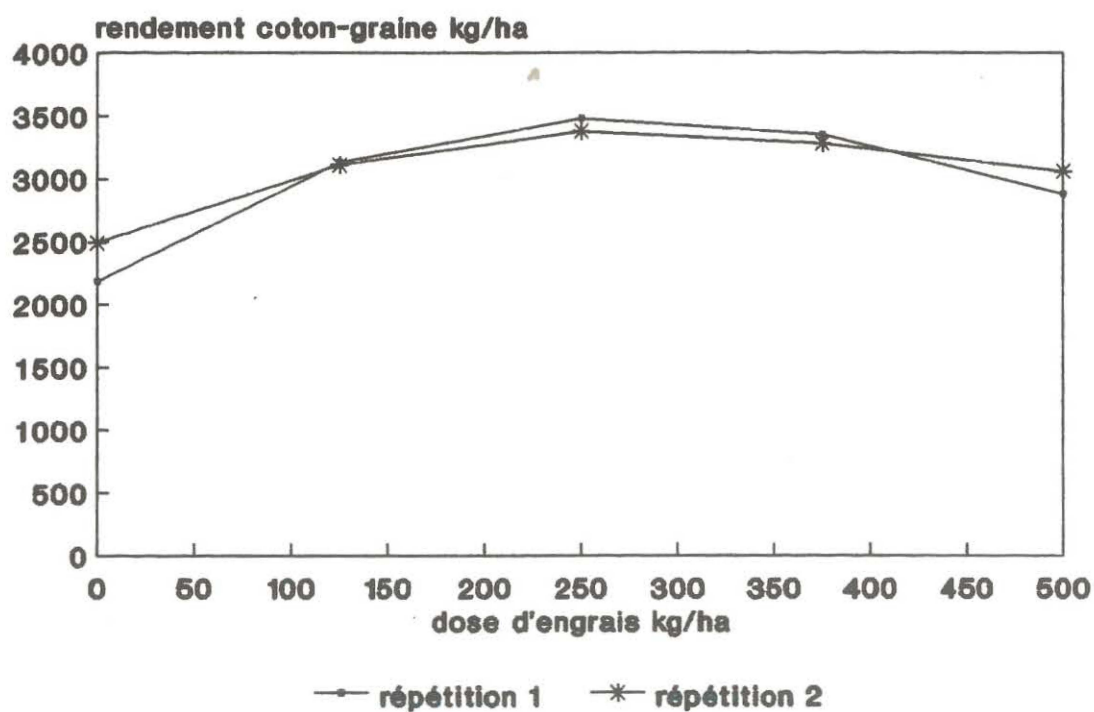


figure 18 : courbes de rendement
parcelle 3

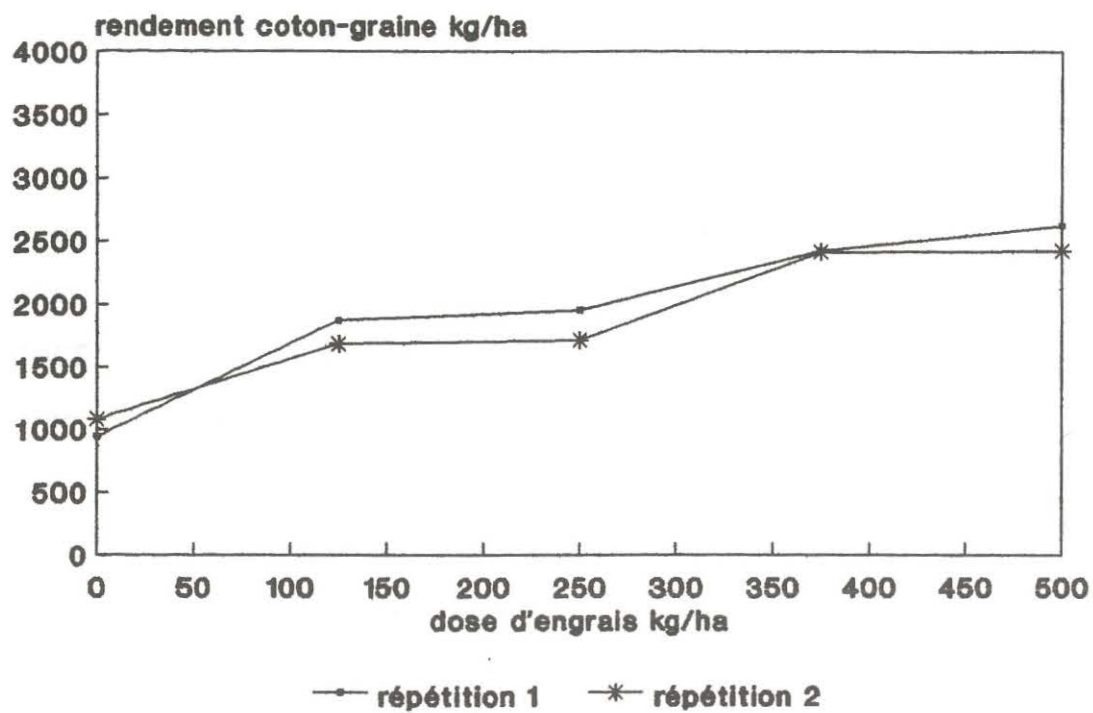


figure 19 : courbes de rendement
parcelle 33

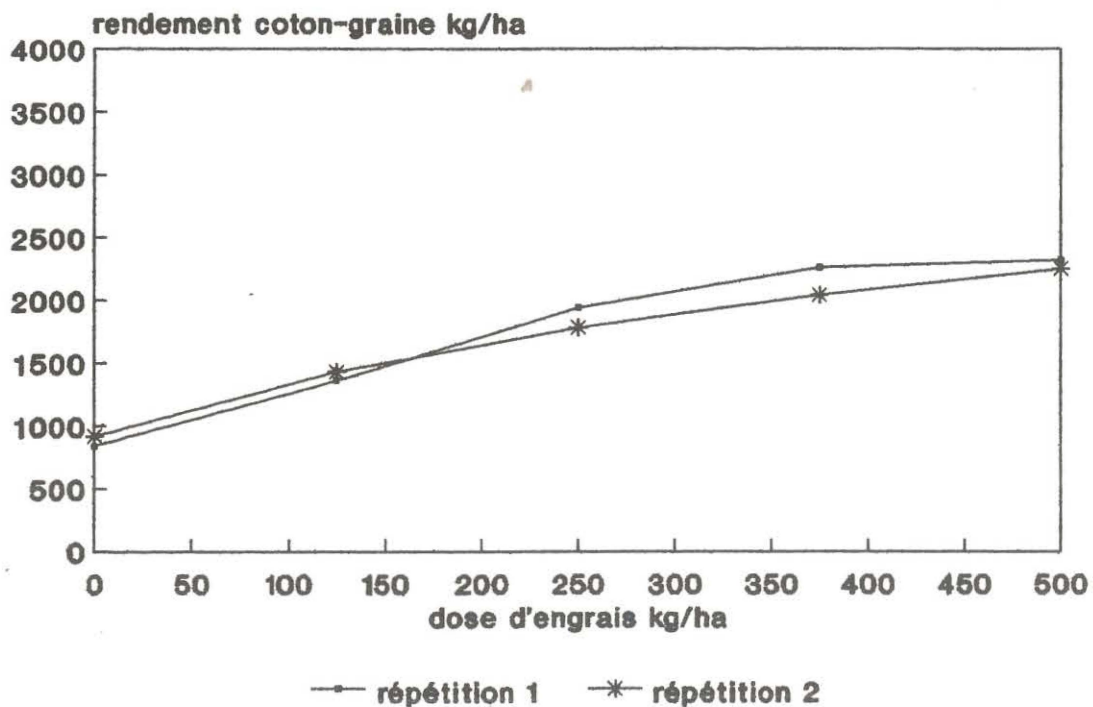
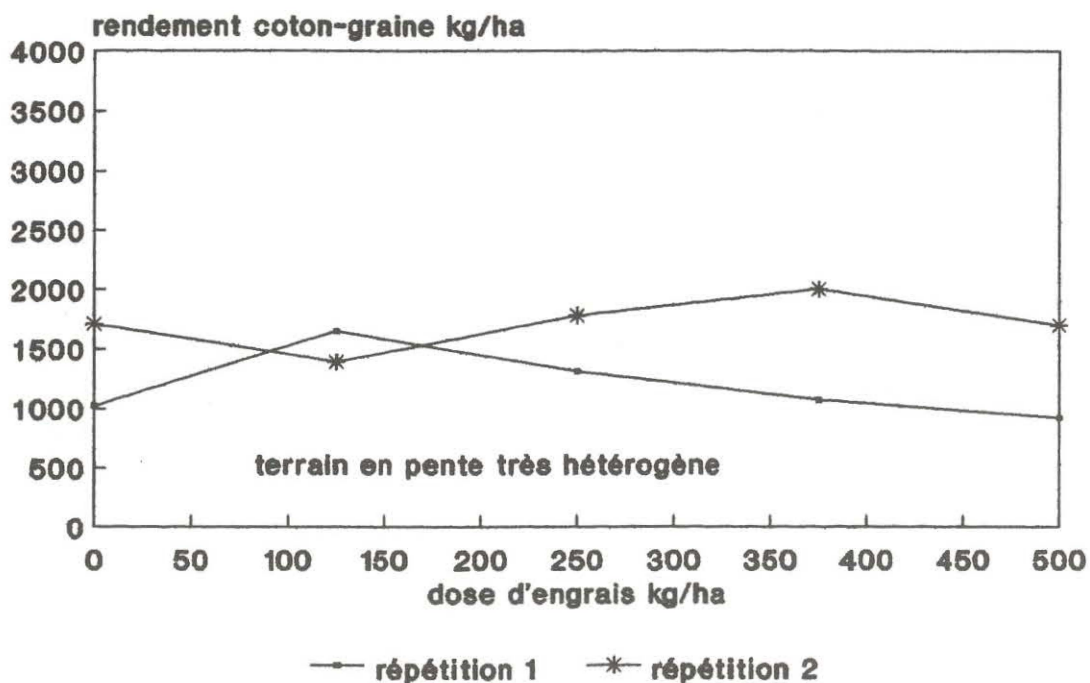
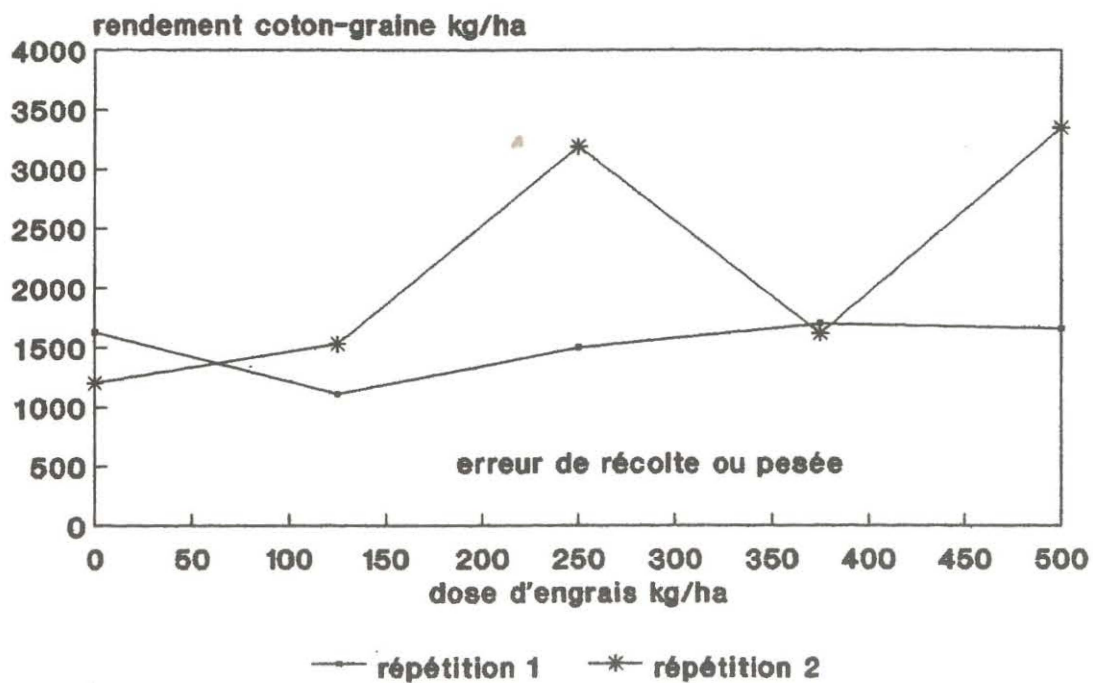


figure 20 : courbes de rendement
parcelle 58



parcelle "abandonnée" lors de la
validation des données.

figure 21 : courbes de rendement
parcelle 54



parcelle "abandonnée" lors de la
validation des données

figure 22 : courbes de rendement
parcelle 111

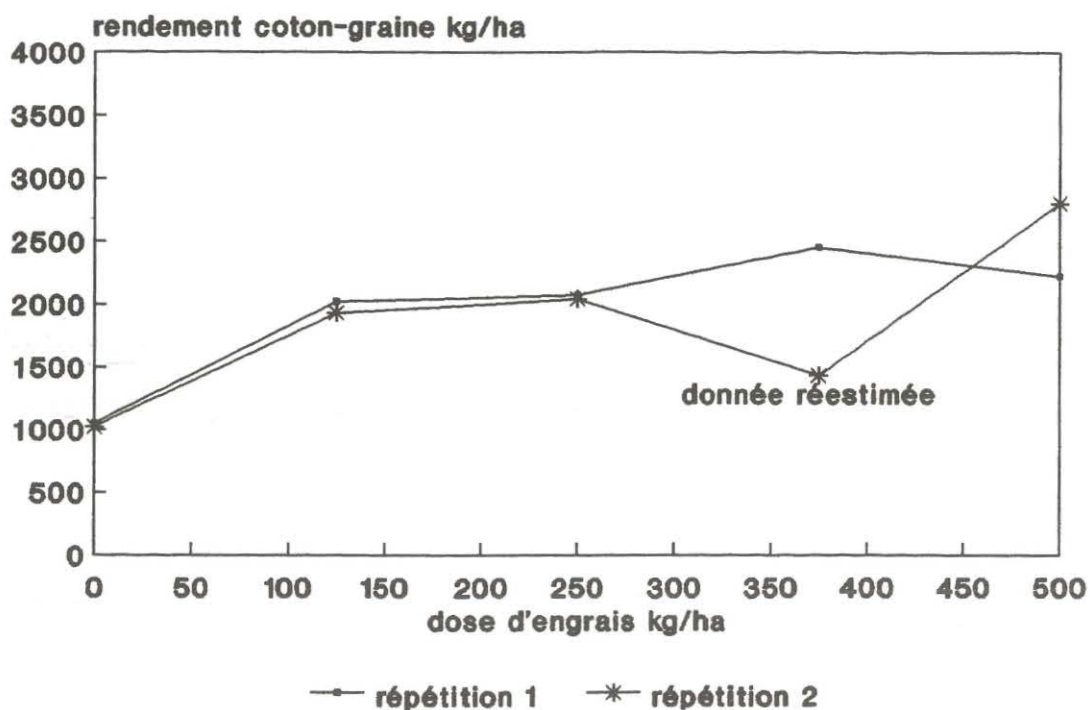
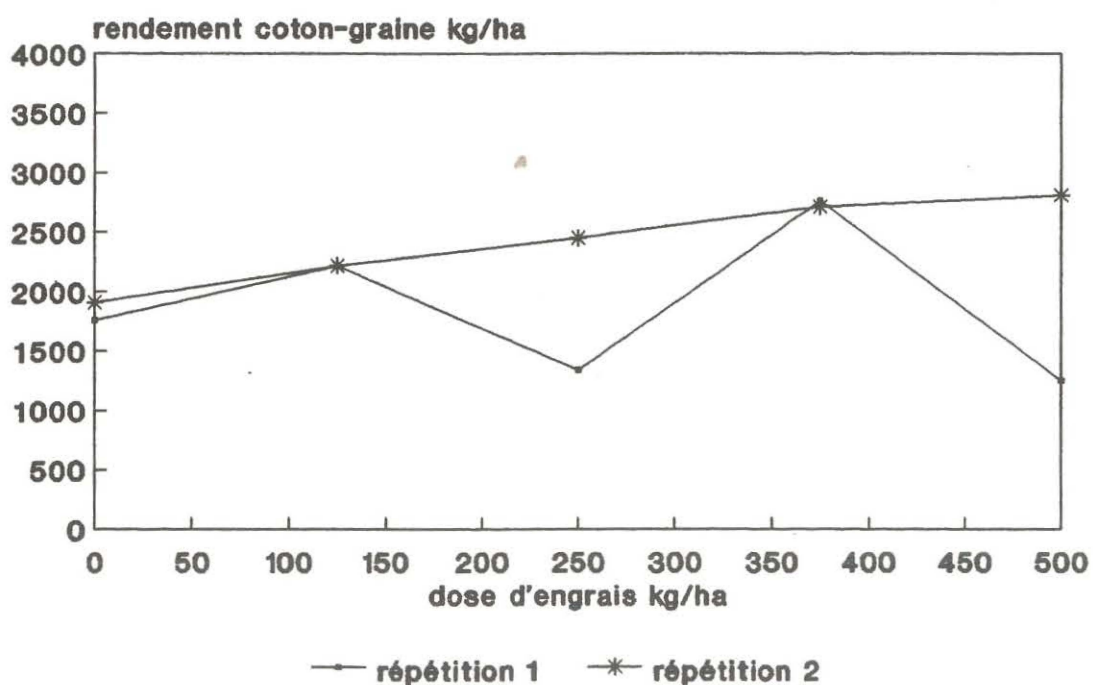


figure 23 : courbes de rendement
parcelle 138



la répétition 1 est "abandonnée"
lors de la validation des données

- Qualité de l'approximation proposée par l'ACP :

A partir des coordonnées de chaque lieu sur les axes 1, 2, et 3, on peut trouver une approximation de la réponse. Cette approximation est plus ou moins précise pour chacun des lieux. On peut mesurer cette précision par la somme des carrés des écarts entre les points réels et les points reconstitués à partir de l'ACP. Cette somme des carrés des écarts est analogue à une inertie dans un espace à 5 dimensions (les 5 rendements).

Le 1^{er} axe comprend 88% de l'inertie globale

2 ^{ème}	"	6%
3 ^{ème}	"	3%,

autrement dit les deux premiers axes résument 94 % de la variabilité entre parcelles.

L'ACP est donc un bon moyen de représenter les variations des réponses d'une parcelle à l'autre.

- Représentation graphique des individus :

En plus des 136 lieux ayant participé à l'analyse, nous avons fait figurer quelques parcelles fictives présentant des réponses typiques : réponse nulle pour différents niveaux de "rendements moyens" (N0, ...N30), réponses linéaires de différentes intensités pour un même "rendement moyen"(L1...L3).

La représentation graphique des lieux sur le plan formé par les 2 premiers axes est donnée figure 24.

Les points actifs sont disposés en un nuage continu et homogène, sans qu'on puisse distinguer de groupe ou de parcelle isolés. Ce nuage a la forme d'un V, ce qui est assez classique en analyse de données et connu sous le nom d'effet Gutman : ceci traduit une liaison, non linéaire, entre les deux premiers axes (la corrélation linéaire est nulle par construction dans l'ACP).

- Interprétation des axes :

Les points fictifs N0,...N30, de réponse nulle et rendements moyens croissants s'alignent selon une direction grossièrement parallèle à l'axe 1.

Les points L1, L2, L3 de rendement moyen égal et de réponses linéaires croissantes s'alignent quasi parallèlement à l'axe 2.

La coordonnée sur l'axe 1 de chaque parcelle représente son niveau moyen, alors que sa coordonnée sur l'axe 2 représente l'intensité de sa réponse linéaire.

Avec 94 % de la variabilité des réponses représentées sur le plan 1-2, on peut dire que les parcelles se distinguent les unes des autres principalement par leur niveau de production (ou rendement moyen), et par l'intensité de leur réponse à l'engrais.

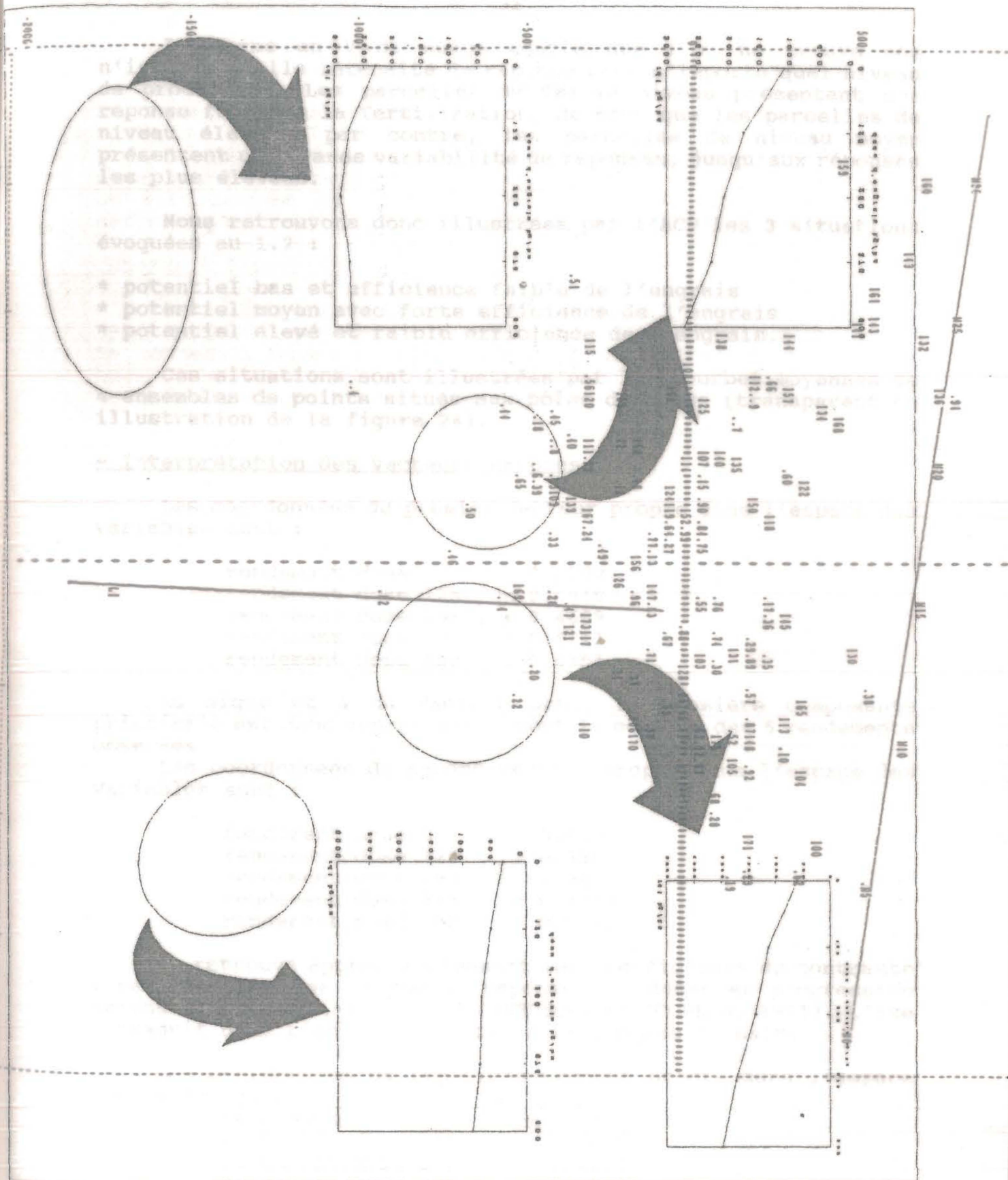


figure 24 : illustration de l'ACP sur le plan formé par les axes 1 et 2 ; les individus sont identifiés par le numéro de parcelle.

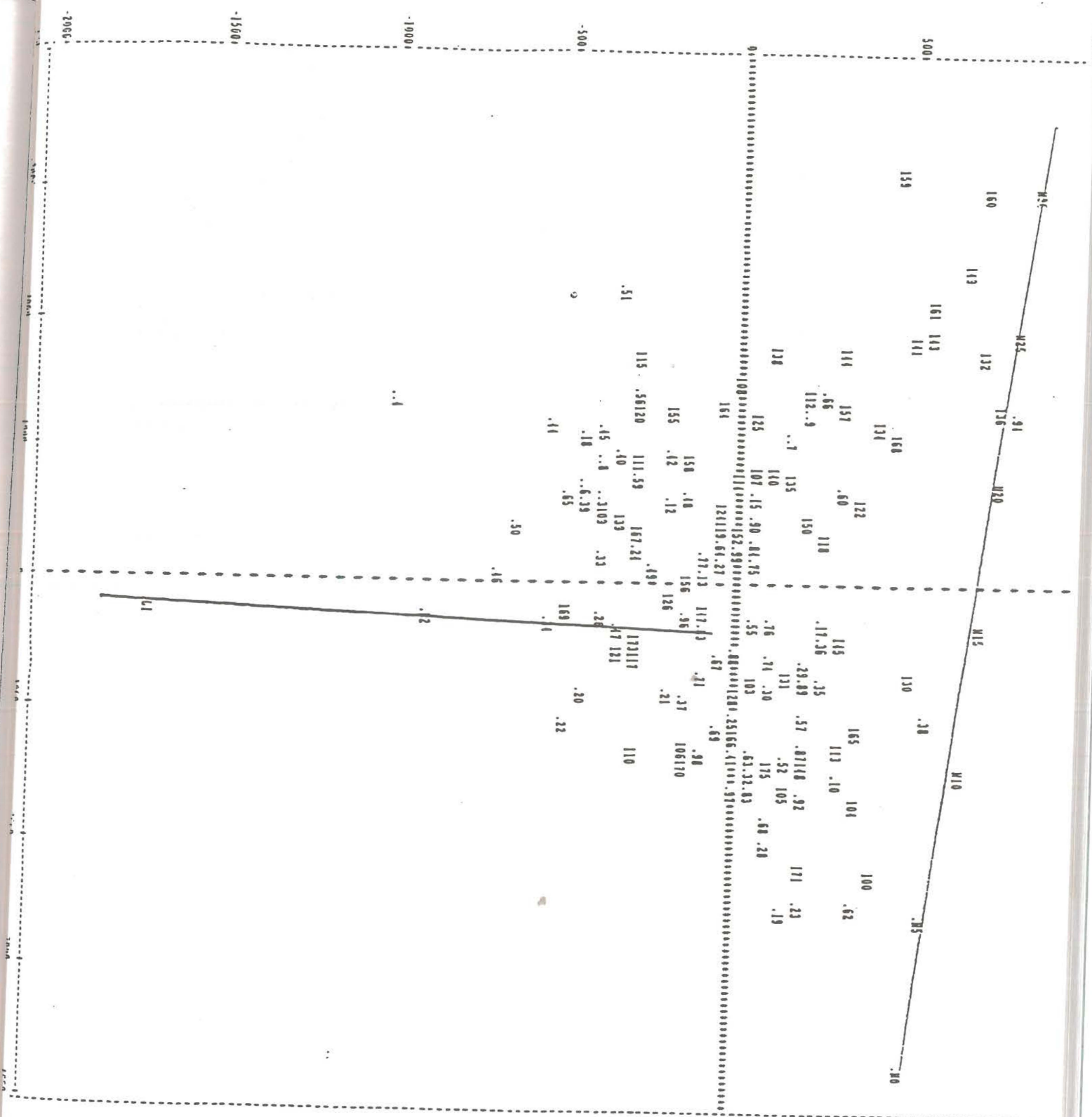
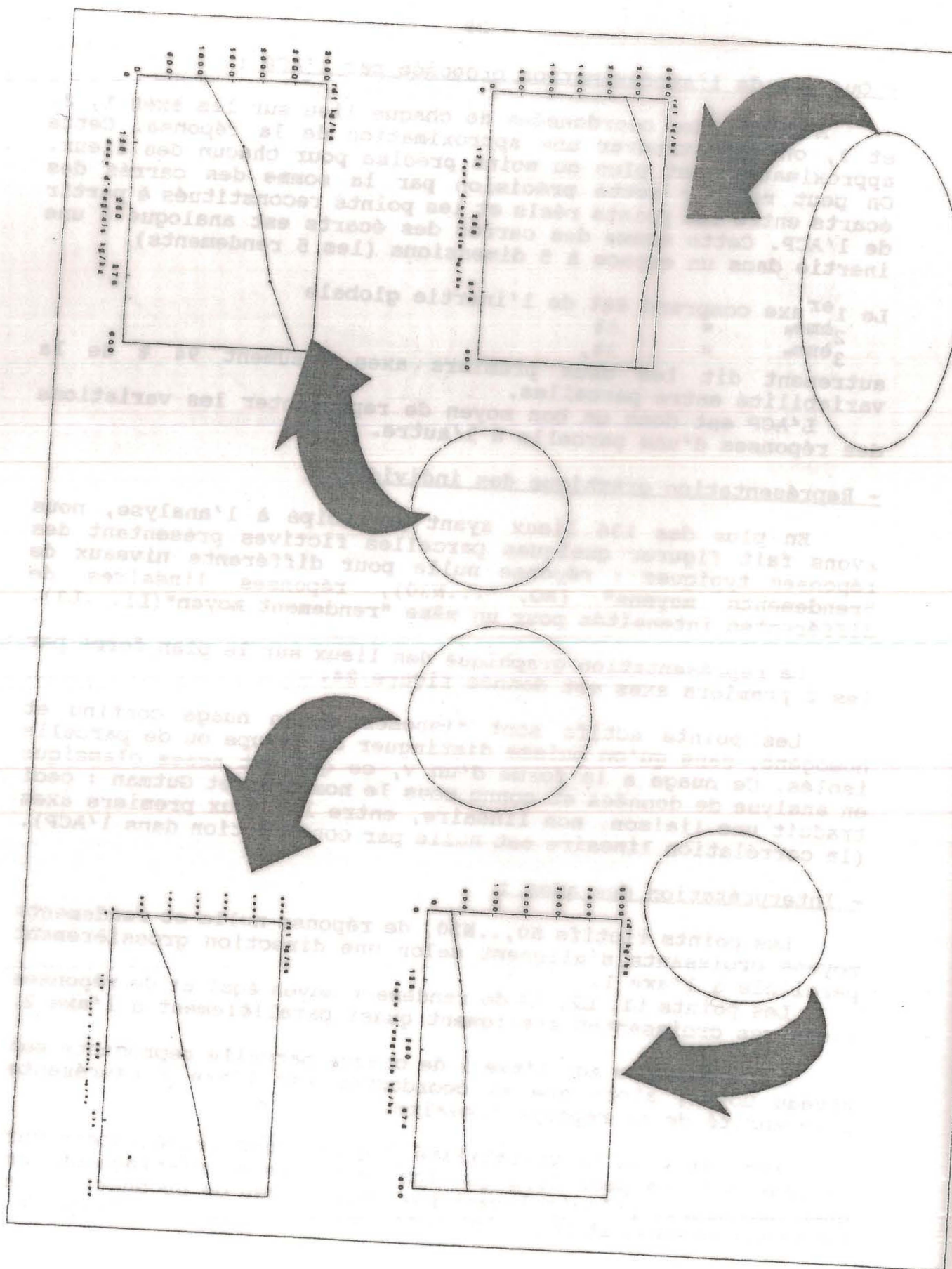


figure 24 : illustration de l'ACP sur le plan formé par les axes 1 et 2 ; les individus sont identifiés par le numéro de parcelle.

La forme en V du nuage montre que l'on ne trouve pas n'importe quelle intensité de réponse pour n'importe quel niveau de production. Les parcelles de faible niveau présentent une réponse faible à la fertilisation, de même que les parcelles de niveau élevé ; par contre, les parcelles de niveau moyen présentent une grande variabilité de réponses, jusqu'aux réponses les plus élevées.

Nous retrouvons donc illustrées par l'ACP les 3 situations évoquées au 1.2 :

- * potentiel bas et efficience faible de l'engrais
- * potentiel moyen avec forte efficience de l'engrais
- * potentiel élevé et faible efficience de l'engrais.

Ces situations sont illustrées par les courbes moyennes de 4 ensembles de points situés aux pôles du nuage (transparent en illustration de la figure 24).

- Interprétation des vecteurs propres :

Les coordonnées du premier vecteur propre dans l'espace des variables sont :

rendement dose 0	- 0.3722
rendement dose 125	- 0.4610
rendement dose 250	- 0.4689
rendement dose 375	- 0.4711
rendement dose 500	- 0.4551

Au signe et à un facteur près, la première composante principale est donc approximativement la moyenne des 5 rendements observés.

Les coordonnées du second vecteur propre dans l'espace des variables sont :

rendement dose 0	0.6387
rendement dose 125	0.3361
rendement dose 250	0.0663
rendement dose 375	- 0.3002
rendement dose 500	- 0.6202

On retrouve approximativement les coefficients du contraste linéaire, pour une courbe de réponse à 5 doses en progression arithmétique : - 2, -1, 0, +1, +2 (SNEDECOR et COCHRAN, 1971). L'axe 2 traduit donc bien l'intensité de la réponse linéaire.

Les coordonnées du troisième vecteur propre dans l'espace des variables sont :

rendement dose 0	- 0.5082
rendement dose 125	0.1489
rendement dose 250	0.4158
rendement dose 375	0.4259
rendement dose 500	- 0.6044

L'adéquation avec un contraste quadratique est moins nette: +2,-1,-2,-1,+2. On peut tout de même considérer que l'axe 3 permet de ranger les parcelles suivant la courbure plus ou moins prononcée de leur réponse.

La représentation selon le plan 1-3 est donnée figure 25 ainsi que son illustration par des courbes moyennes (transparent en illustration de la figure 26). La parcelle 61 se détache nettement du reste des individus ; sa réponse présente une courbure positive, ce qui est effectivement singulier pour une réponse à l'engrais.

Pour la suite du dépouillement, nous nous sommes basés sur les 2 variables qui caractérisent au mieux la diversité observée: le rendement moyen et l'intensité de la réponse linéaire, que nous avons donc calculés pour chaque lieu à partir des 5 rendements obtenus respectivement avec les 5 doses d'engrais.

III. Evaluation de la part des facteurs agronomiques dans les rendements observés

Il s'agit maintenant d'évaluer le poids, dans la diversité observée, de ce qui est dû aux facteurs de l'année et aux techniques culturales, afin d'isoler par soustraction la part inexpliquée par ces facteurs considérée comme le reflet de la fertilité du milieu (cf hypothèse du 1.2.).

Dans un premier temps, nous avons isolé le groupe des parcelles les plus productives pour tous les niveaux de fumure, donc les rendements moyens les plus élevés pour les réponses les plus faibles.

En effet, sur ces parcelles à forte potentialité, l'effet des facteurs de l'année est bien moindre que sur les autres parcelles et leurs résultats risquent donc de "brouiller" l'analyse. Ceci est bien illustré par la figure 26 où l'on a repris la représentation de l'ACP mais en figurant les lieux par leur appartenance à une classe de date de semis : entre lieux à faible et moyen niveaux, on retrouve une tendance à une partition entre semis tardifs et précoces, tandis que dans le groupe des parcelles les plus productives se mélangent toutes les classes de dates de semis.

Cette discrimination des parcelles les plus productives s'est faite sur l'histogramme de répartition du rapport : réponse/rendement moyen, qui est donc le plus faible pour ces parcelles. Nous avons ainsi isolé un groupe de 20 parcelles (figure 27).

L'étude du poids des facteurs annuels s'est fait de façon séparée pour les 2 groupes ainsi distingués.

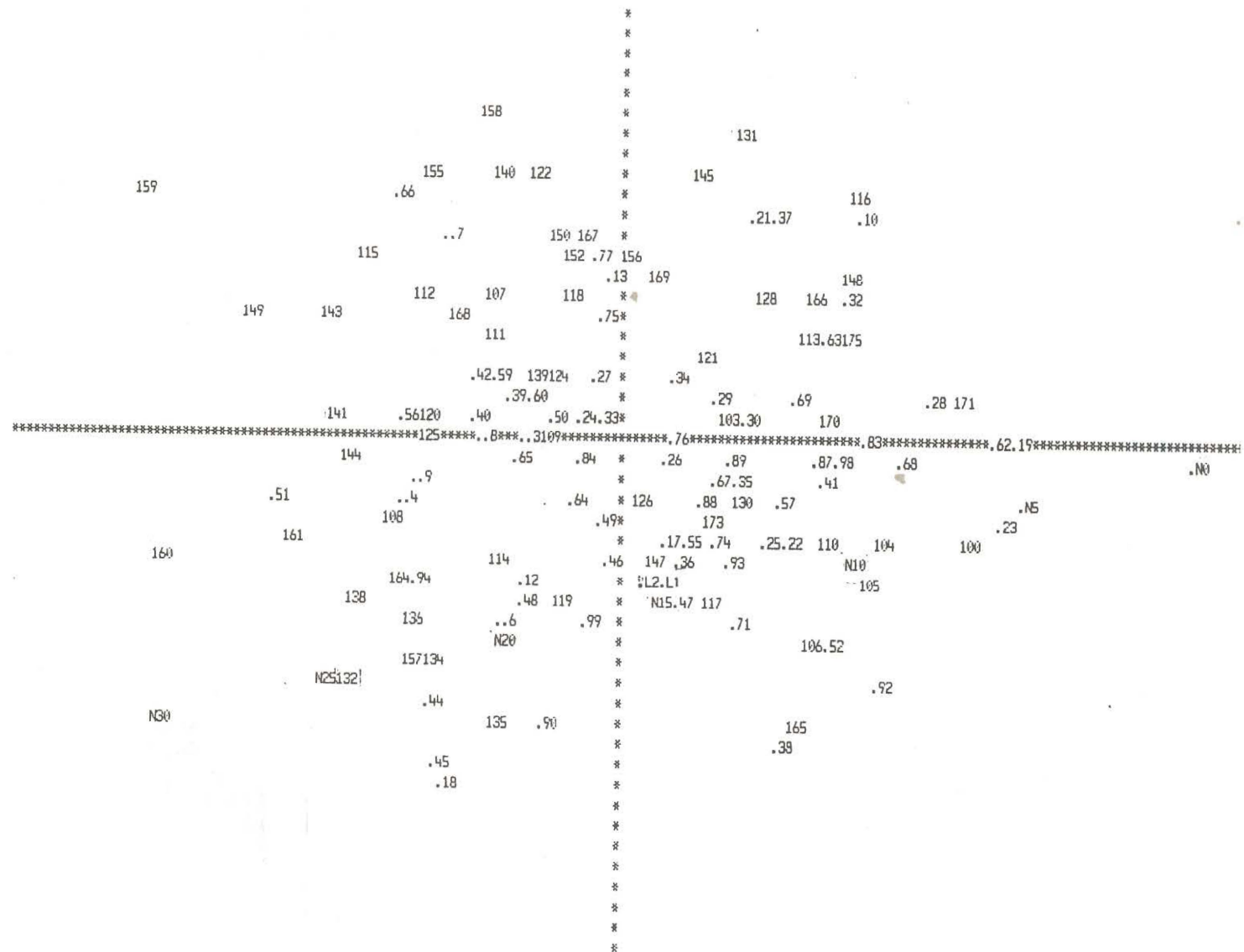


figure 25 : illustration de l'ACP sur le plan formé par les axes 1 et 3 ; les individus sont identifiés par le numéro de parcelle.

figure 27 : histogrammes de la variable réponse / rendement

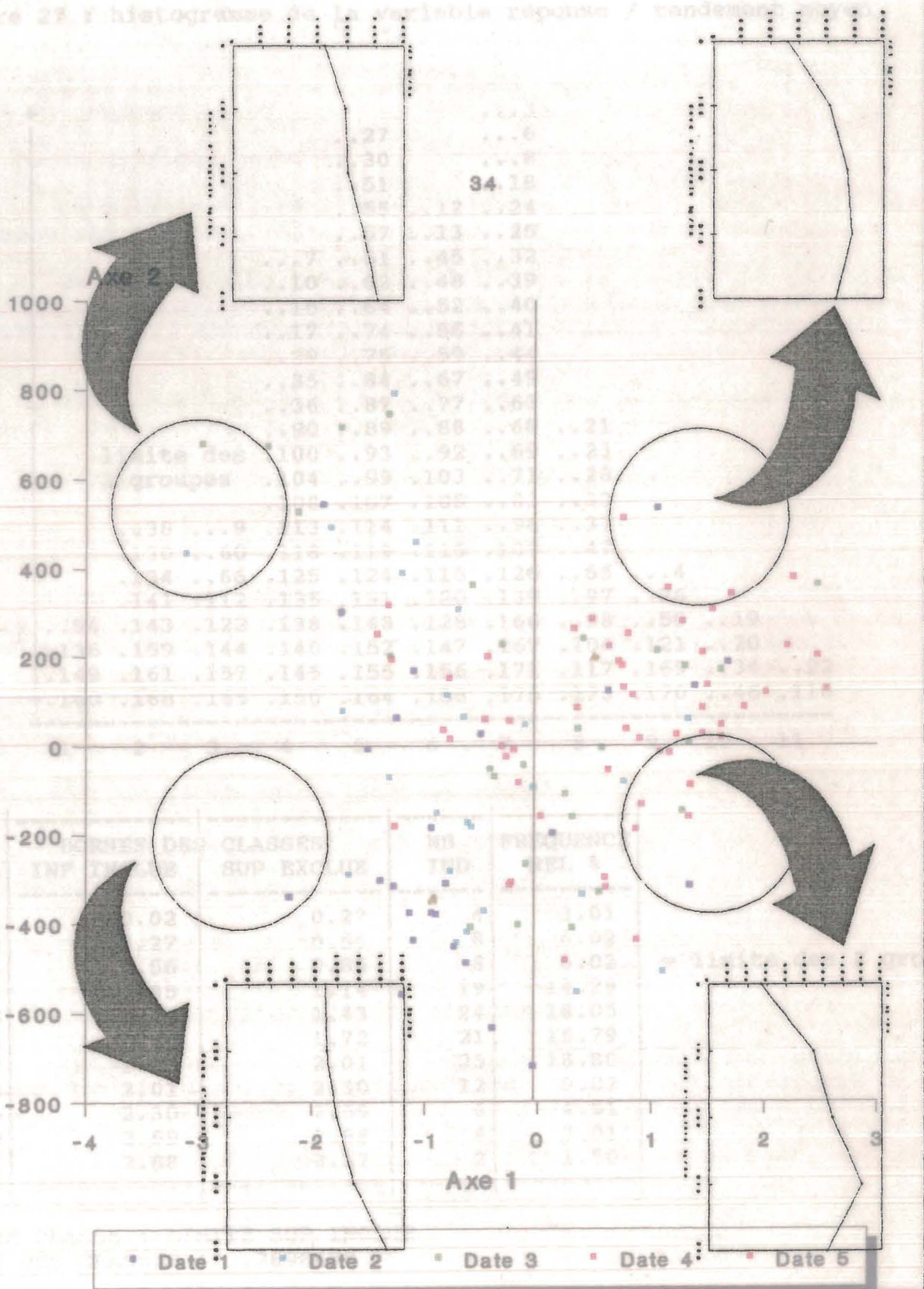


Figure 26 : illustration de l'ACP sur les axes 1 & 2. Individus par classes de date de semis (1:précoce à 5:tardif).

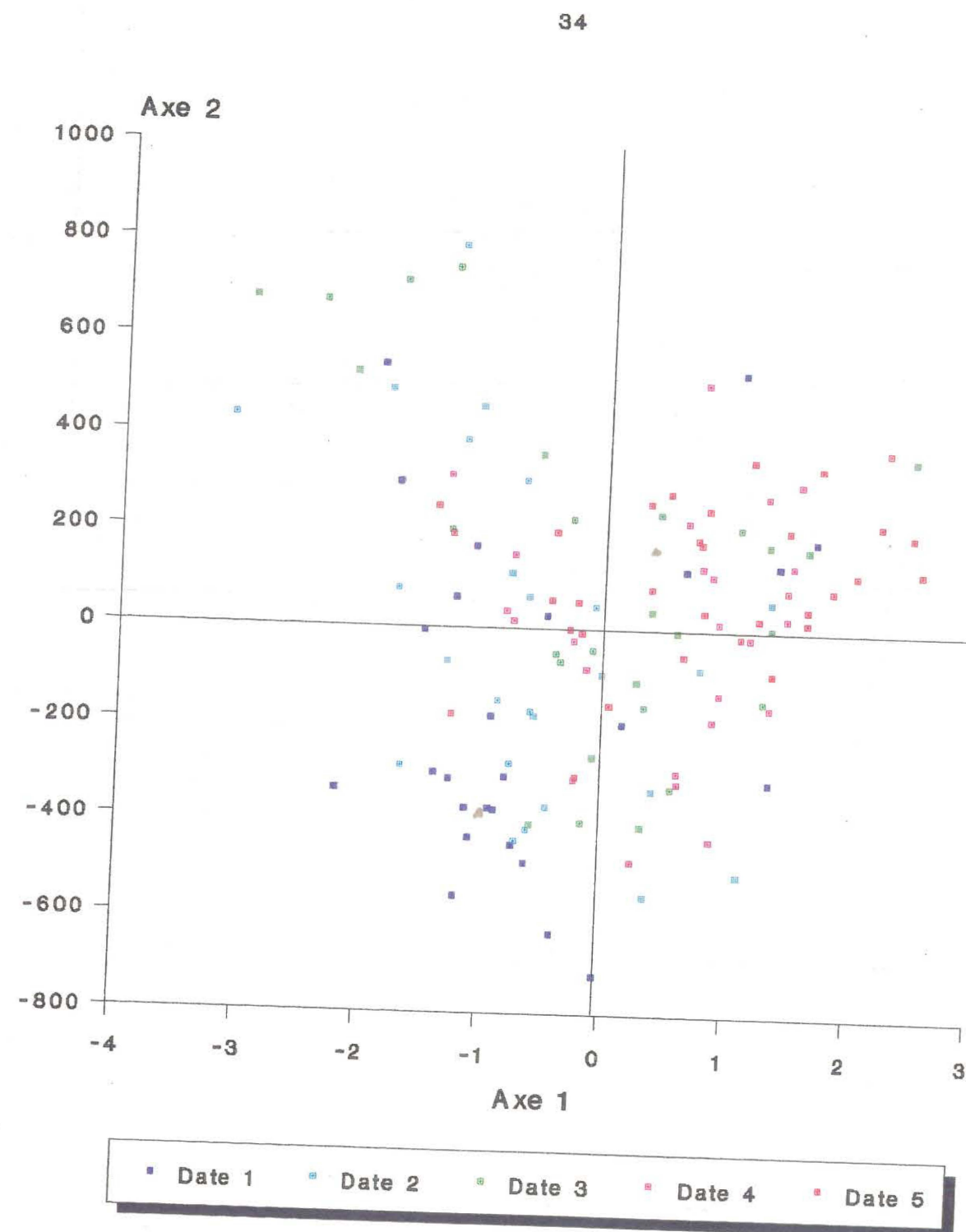
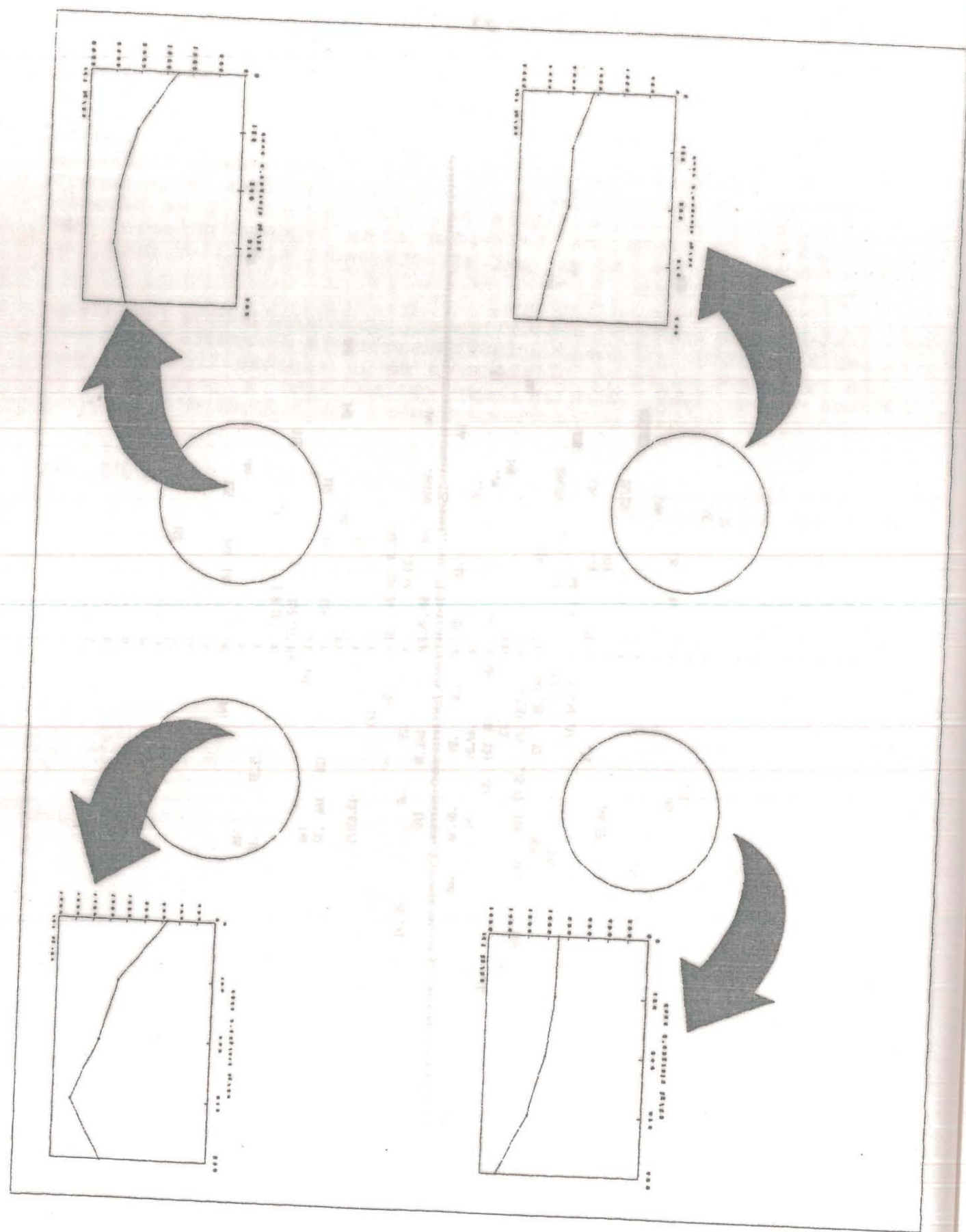
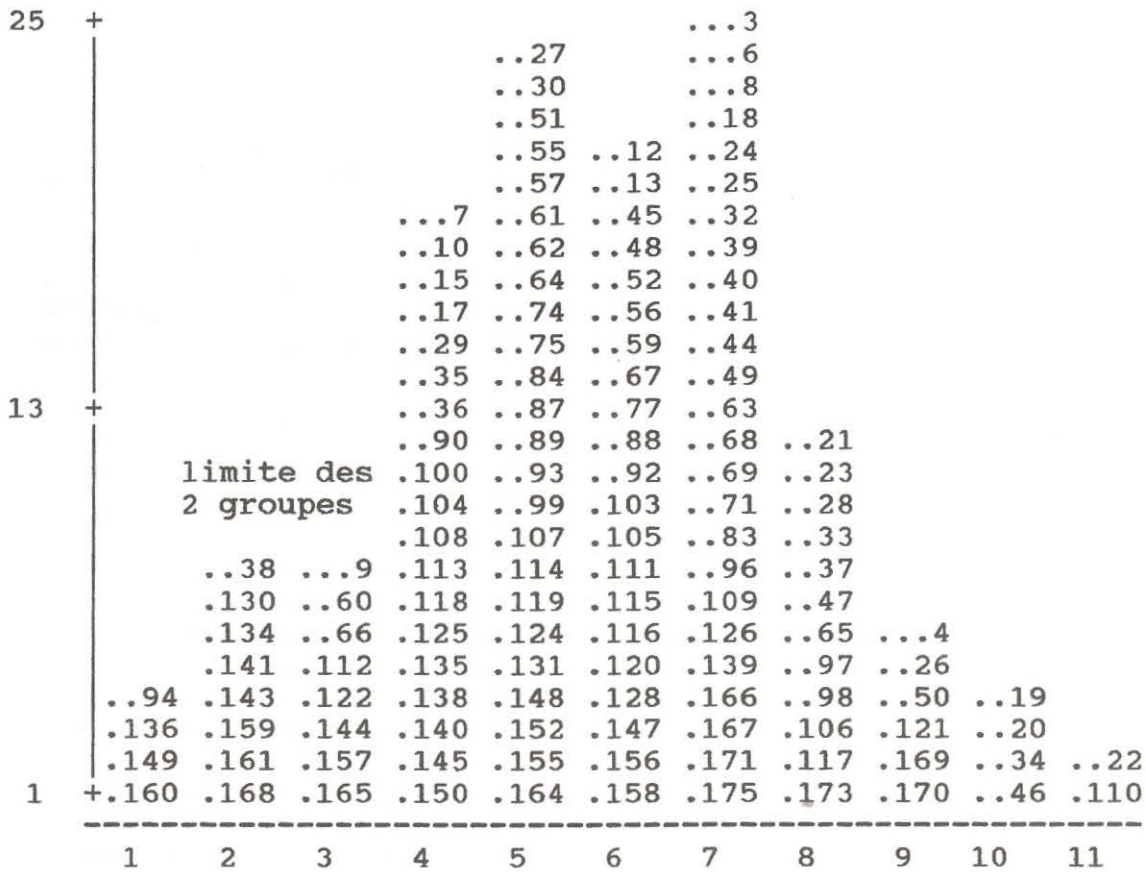


Figure 26 : illustration de l'ACP sur les axes 1 & 2. Individus par classes de date de semis (1:précoce à 5:tardif).

figure 27 : histogramme de la variable réponse / rendement moyen



N° CLASSE	BORNES DES INF INCLUE	CLASSES SUP EXCLUE	NB IND	FREQUENCE REL %
1	-0.02	0.27	4	3.01
2	0.27	0.56	8	6.02
3	0.56	0.85	8	6.02
4	0.85	1.14	19	14.29
5	1.14	1.43	24	18.05
6	1.43	1.72	21	15.79
7	1.72	2.01	25	18.80
8	2.01	2.30	12	9.02
9	2.30	2.59	6	4.51
10	2.59	2.88	4	3.01
11	2.88	3.17	2	1.50

= limite des 2 groupes

DERNIERE CLASSE : LIMITE SUP INCLUE

LARGEUR DES CLASSES : .2898456

3.1. Variables agronomiques identifiées et testées pour leur poids dans l'élaboration du rendement

* date de semis (en jours après le 20 mai, ouverture officielle de la campagne)

* bilan hydrique sommaire :

Ce bilan a été réalisé à l'aide du logiciel Bipode (mis au point par l'IRAT).

Ce bilan reste très sommaire dans la mesure où certains coefficients ont été considérés comme identiques pour toutes les parcelles en l'absence d'éléments d'appréciation : réserve utile, seuil et coefficient de ruissellement.

Nos parcelles ne différaient donc que par la date de semis et la pluviométrie journalière.

D'après les résultats de C. LANGLAIS (IDESSA/Côte d'Ivoire, 1987), nous avons retenu deux variables issues du bilan hydrique : excès d'eau pour les 0-60 jours après semis et indice de satisfaction en eau des 40 derniers jours du cycle.

* indice de concurrence des adventices : cet indice se calcule à partir des cotations d'enherbement pour trois périodes de la culture : 0-20 jours, 20-40 jours, 40-60 jours après semis.

* densité du peuplement à la récolte

* nombre de traitements insecticides

* nombre de jours entre levée et resemis

* nombre de jours entre levée et démariage

* nombre de jours entre levée et épandage de l'urée

* mode de labour

3.2. régression multiple progressive

Nous avons utilisé la méthode de régression multiple progressive. Successivement pour les deux variables réponse et rendement moyen que l'on cherche à expliquer, nous avons proposé une série de variables explicatives ou régresseurs, qui sont une à une testées et acceptées ou rejetées par la méthode, selon qu'elles contribuent de façon significative ou non à l'explication (au seuil de 5 %).

Résultats :

Les variables "date de semis" et "données du bilan hydrique" n'étaient pas envisagées conjointement dans l'analyse, le calcul des 2 données retenues pour le bilan hydrique comprenant la date de semis. Il s'est avéré à l'analyse que la part explicative de la date de semis était supérieure à celles des données du bilan hydrique. Nous avons donc retenu la date de semis.

a) groupe des parcelles à potentialités moyennes et faibles

- sur la réponse :

variables retenues par le modèle : date de semis et densité du peuplement

Aucune autre variable n'est retenue par la méthode, autrement dit par rapport aux deux premières variables déjà introduites, aucune autre n'a un poids significatif dans l'élaboration de la réponse.

$$\begin{aligned} * \text{réponse} &= 2956 - 49,8(\text{semis}) + 5,7(\text{densité}) + \text{résidu} \\ r^2 &= 0,3299 \end{aligned}$$

Le poids du seul facteur date de semis dans l'élaboration de la réponse est de 30 %.

remarque : tout jour de retard pour le semis entraîne une perte de réponse de 49 kg/ha.

Les poids conjugués des facteurs date de semis et densité dans l'élaboration de la réponse sont de 33 %.

- sur le rendement moyen :

variables retenues par le modèle : date de semis, indice de concurrence, densité, nombre de jours entre la levée et l'épandage de l'urée.

$$\begin{aligned} * \text{rdt moyen} &= 2615 - 29,8(\text{semis}) - 1,7(\text{indice concurrence}) + \\ &+ 3(\text{densité}) - 13,7(\text{urée-levée}) \quad r^2 = 0,3953 \end{aligned}$$

Le poids du seul facteur date de semis dans l'élaboration du rendement moyen est de 30 %.

remarque : tout jour de retard pour le semis entraîne une perte de rendement moyen de 29 kg/ha.

Les poids conjugués des facteurs date de semis, indice de concurrence, densité et date d'épandage de l'urée dans l'élaboration du rendement moyen sont de 40 %.

Pour ce groupe de parcelles, le poids des facteurs agronomiques dans l'élaboration de la réponse et du rendement moyen cette année a été respectivement de 33 et 40 %.

b) groupe des parcelles à potentialités élevées

- sur la réponse :

variables retenues par le modèle : nombre de jours entre levée et resemis

Aucune autre variable n'est retenue par la méthode.

$$* \text{ réponse} = 1419 - 76,3(\text{resemis}) + \text{résidu} \quad r^2 = 0,4979$$

Le poids du facteur date de resemis dans l'élaboration de la réponse est de 50 %.

remarque : tout jour de retard pour le resemis entraîne une perte de réponse de 76 kg/ha.

- sur le rendement moyen :

variables retenues par le modèle : indice de concurrence, densité, nombre de jours entre la levée et le resemis.

$$* \text{ rdt moyen} = 1442 - 6,6(\text{indice concurrence}) + 9,8(\text{densité}) - 44,2(\text{resemis}) + \text{résidu} \quad r^2 = 0,6072$$

Le poids du seul facteur indice de concurrence dans l'élaboration du rendement moyen est de 25 %.

Les poids conjugués des facteurs indice de concurrence, densité et date de resemis dans l'élaboration du rendement moyen sont de 61 %.

remarque : tout jour de retard pour le resemis entraîne une perte de rendement moyen de 44 kg/ha.

Pour ce groupe de parcelles, le poids des facteurs agronomiques dans l'élaboration de la réponse et du rendement moyen cette année a été respectivement de 50 et 61 %.

3.3. Elaboration de nouvelles variables

Si l'on reprend la "formule" déjà évoquée (hypothèse du 1.2.)

Réponse observée = [combinaison de facteurs annuels] + RESIDU
 où RESIDU = [facteurs intrinsèques fertilité] + part aléatoire
 idem pour le Rendement observé...

alors à partir de ce premier travail, nous pouvons soustraire de nos réponse et rendement observés la part [combinaison des facteurs de l'année], et considérer les valeurs résiduelles de la régression.

Si toutes les parcelles avaient été dans les mêmes conditions annuelles moyennes par exemple, et si les facteurs annuels seuls influaient sur les rendements, alors toutes auraient eu les même valeurs de réponse et de rendement. Si pour chaque parcelle nous soustrayons le poids des facteurs annuels, cela revient à les placer toutes en conditions moyennes.

Nous attribuons alors la variabilité que nous observons sur les résidus entre ces parcelles (la part résiduelle de réponse et rendement non expliquée) aux facteurs de fertilité, sans oublier une part aléatoire qui reste inchangée depuis le début de l'analyse et qui donc proportionnellement augmente après suppression de la première part de variabilité.

Nous allons donc maintenant travailler sur de nouvelles variables, réponse et rendement moyen calculés, obtenus pour chaque lieu en additionnant la valeur moyenne identique pour tous les lieux et le résidu de l'analyse propre à chaque lieu (nous pourrions travailler sur les seuls résidus, mais l'échelle des valeurs obtenues serait beaucoup moins parlante).

Nous pouvons illustrer la nécessité d'avoir élaboré ces variables calculées en comparant les deux figures 28 et 29 :

- un certain nombre de parcelles après soustraction des facteurs de l'année qui leur avaient été défavorables (notamment dates de semis), changent de "catégorie" et sont donc replacées à une plus juste valeur de niveau de fertilité.
- ce sont des parcelles qui ne relèvent pas de la même problématique que les parcelles les plus épuisées contrairement à ce que semblaient indiquer les valeurs "brutes" de réponse et rendement moyen.

Remarque : le nivellement se fait sur des conditions moyennes de facteurs de l'année (qui ne sont pas forcément les conditions optimales), ce qui explique les "baisses de performance" de certaines parcelles conduites dans des conditions particulièrement favorables. Cela ne compromet en rien la méthode, l'essentiel étant de travailler à une même échelle pour toutes les parcelles.

figure 28 : réponse linéaire "brute" (à partir des valeurs observées) en fonction du rendement moyen "brut" ; les individus sont identifiés par le numéro de parcelle.

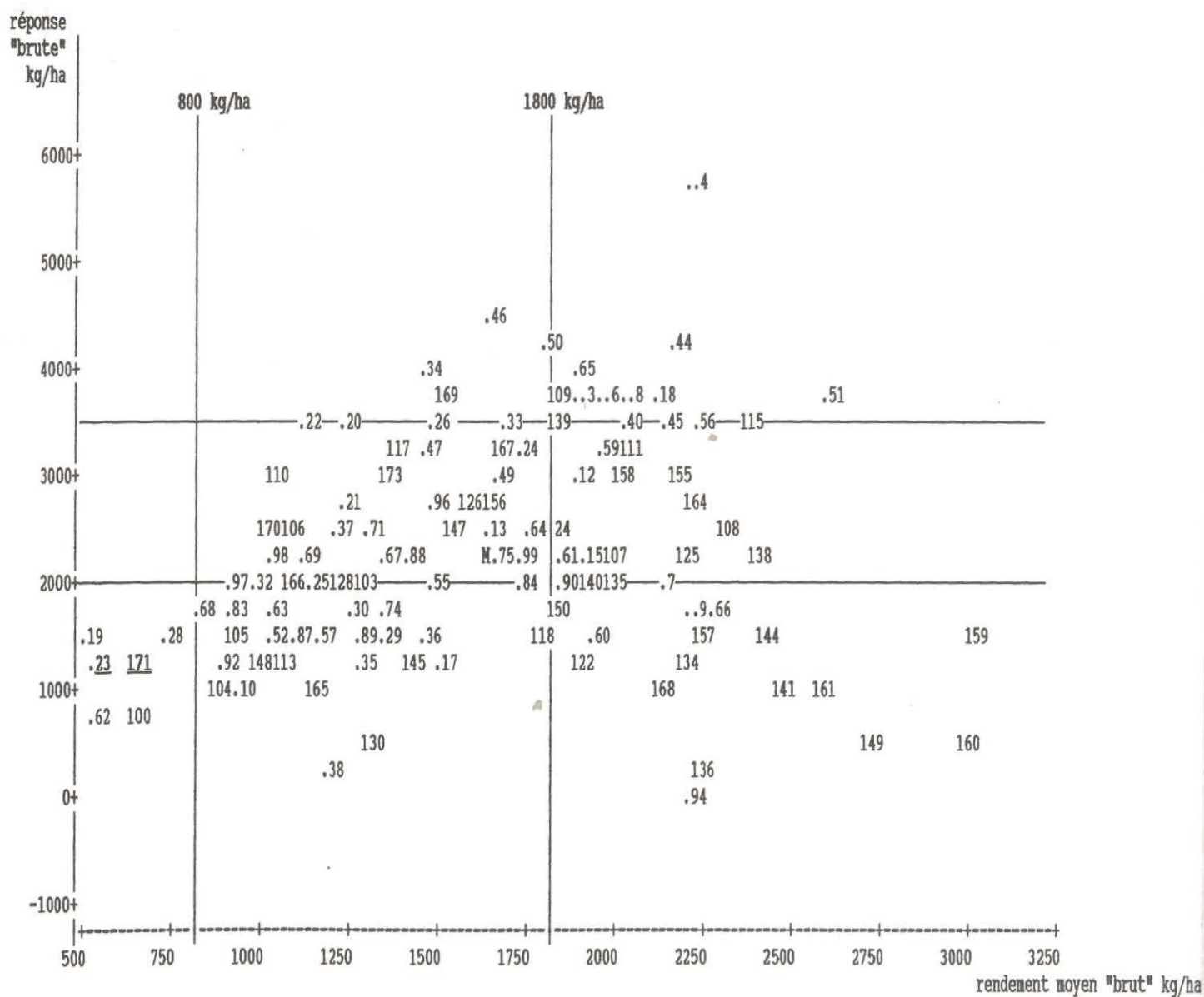
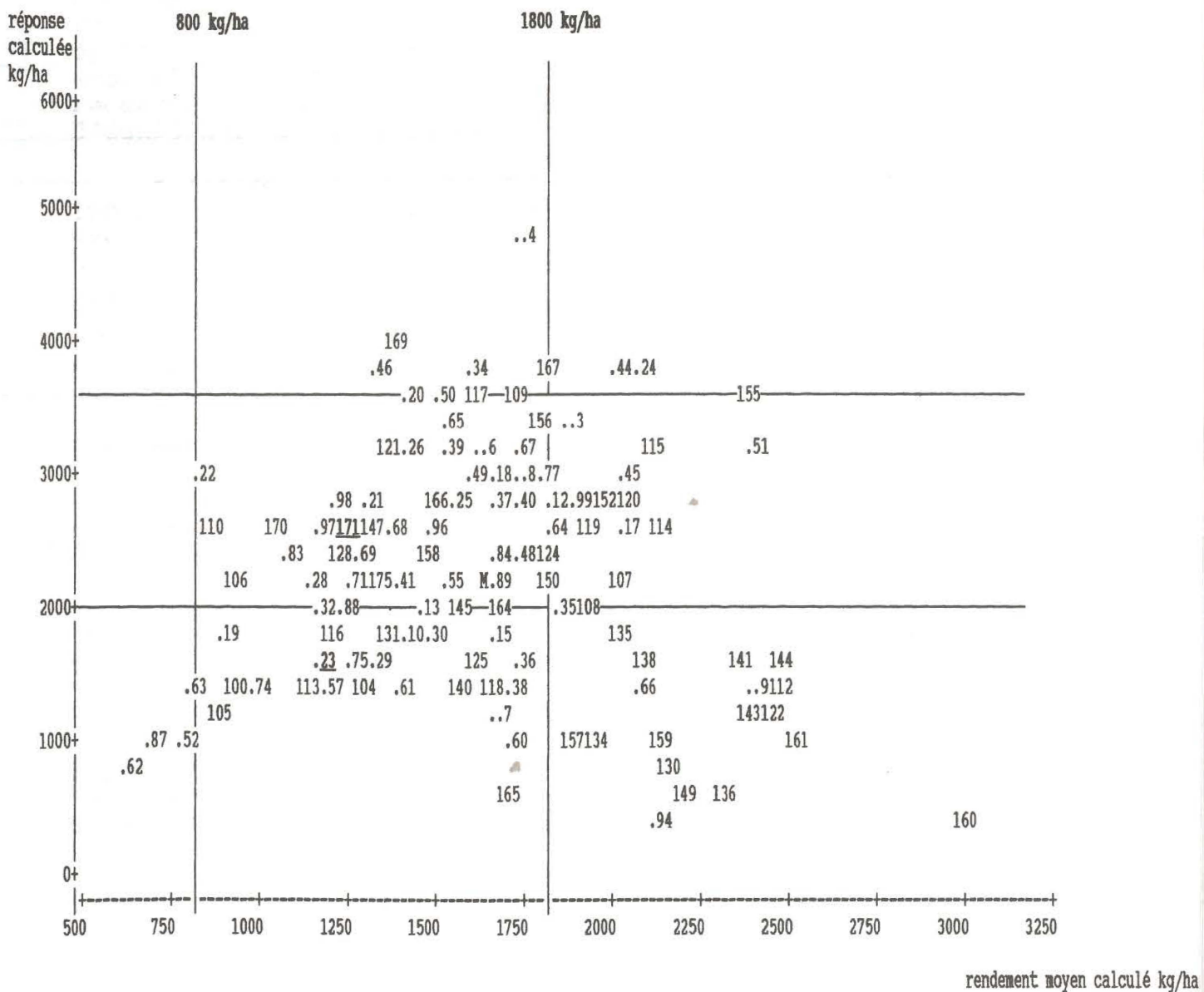


figure 29 : réponse linéaire calculée en fonction du rendement moyen calculé ; les individus sont identifiés par le numéro de parcelle.



exemple : les parcelles 23 et 171 ont changé de catégorie par rapport à la figure 29 (voir commentaires dans le texte).

Conclusions de la campagne 1990 et orientations de programme

Bien que les résultats de la pré-enquête laissent supposer une plus grande part de parcelles très dégradées, notre échantillonnage de 154 champs paysans d'un quart d'hectare nous a permis de couvrir une variabilité de situations suffisante pour espérer après les 2 campagnes 1990 et 1991 être en mesure d'élaborer des critères d'appréciation d'état de fertilité et ébaucher des solutions adaptées.

D'ores et déjà à partir de l'exploration brute des résultats nous avons mis en évidence une marge importante de progrès à réaliser par l'optimisation de la fumure minérale. Cette optimisation, ne serait-ce que pour une rentabilisation économique immédiate, passe par une augmentation des doses recommandées dans 50 % des cas, beaucoup plus dans une optique d'équilibre du bilan minéral de la rotation.

A l'issue de la campagne 1990, nous avons évalué une part importante de variabilité entre parcelles qui devait être expliquée par des différences de caractéristiques intrinsèques de la fertilité, notre premier traitement de données ayant consisté à situer les parcelles en conditions équivalentes de facteurs annuels et techniques culturales.

La part de variabilité résultante (après la prise en compte des facteurs annuels de variation) :

- 67 et 60 % respectivement pour les réponse et rendement moyen des parcelles à potentialités moyenne et faible

- 50 et 40 % respectivement pour les réponse et rendement moyen des parcelles à potentialité élevée,

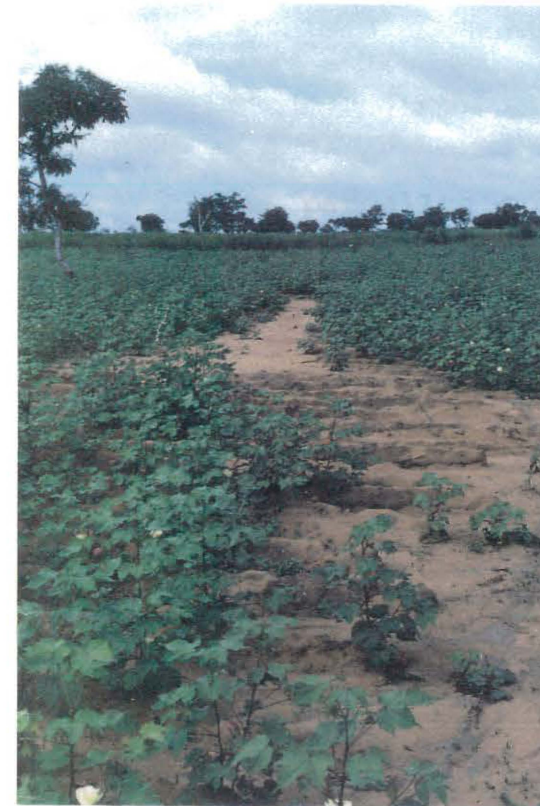
reste essentiellement dépendante des composantes chimique, physique, voire biologique, de la fertilité du milieu.

Certaines données de la composante chimique sont déjà disponibles, à savoir analyses de sol (appréciation d'une partie de la réserve nutritionnelle), et analyses foliaires (appréciation de la part effectivement disponible et prélevée par les plantes), la comparaison des deux devant permettre d'évaluer d'autres facteurs limitant cette disponibilité.

Les données de la composante physique doivent être recueillies au cours de la campagne 91/92.

Dans cette optique, les expérimentations prévues en 91/92 et en partie initiées sont les suivantes :

- appréciation des états de surface et de l'érosion (planche 5)
- appréciation de profils racinaires
- mesures de pénétrométrie et de densités apparentes
- appréciation qualitative de la flore adventice



1. Erosion



2. Effet des états de surface
sur la levée des cotonniers

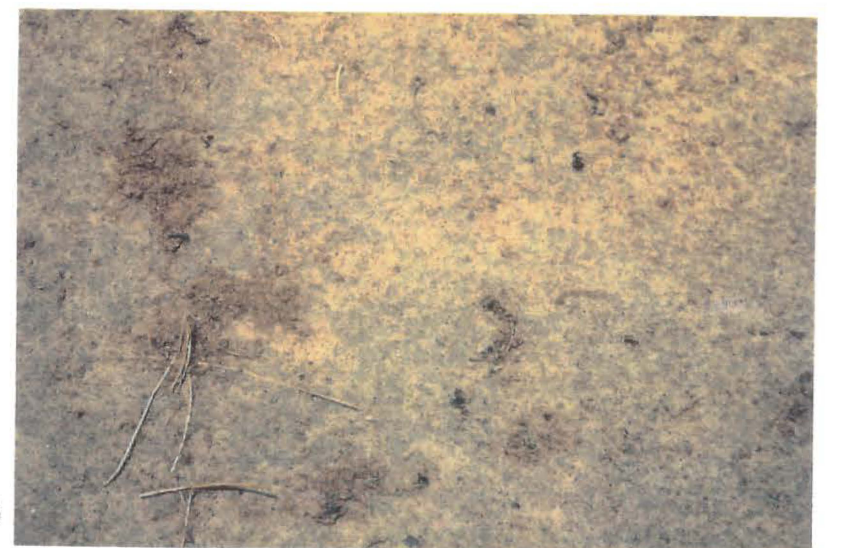


3

3.4.5. Diversité des états
de surface



4



5

Les parcelles sont semées en sorgho rouge "Djighari" et fumées uniformément en urée : l'arrière-effet de la fumure coton sera mesurée par les rendements, l'urée permettant de lever le principal facteur limitant du rendement qu'est l'azote.

Ces mesures des caractéristiques physiques du sol sont trop astreignantes pour être conduites sur l'ensemble des parcelles de la campagne 90. Les résultats présentés ci-dessus ainsi que les premiers éléments des analyses de sol nous ont permis d'établir l'échantillonnage suivant :

- après élimination des parcelles ayant des données manquantes ou dont la conduite avait posé des problèmes particuliers, nous avons conservé 120 parcelles pour la mesure de l'arrière-effet fumure coton.

- un échantillon de 13 parcelles a été sélectionné pour les appréciations d'états de surface, érosion, et profils racinaires. Les critères de sélection de ces parcelles reposent sur la constitution de couples de parcelles ayant eu des rendements très proches pour des données de chimie du sol sensiblement différentes, ou au contraire des données chimiques similaires ayant conduit à des rendements différents. Dans les deux cas on peut supposer qu'un facteur important autre que la chimie du sol explique la différence entre les deux parcelles. Nous avons également conservé dans cette sélection les parcelles montrant des signes de toxicité aluminique (qui témoignent d'une dégradation très importante des qualités chimiques du sol et vraisemblablement en corollaire des qualités structurales), ainsi qu'une parcelle "référence" présentant de bonnes qualités chimiques et de hauts rendements.

- un échantillon de 60 parcelles (parmi lesquelles les 13 ci-dessus) servira aux mesures de pénétrométrie, densités apparentes, qualité de l'enherbement. A partir des 120 parcelles, dans chacun des 3 groupes de potentialités, nous avons conservé 50 % des parcelles, en préservant à l'intérieur de chaque groupe le maximum de variabilité de réponse et rendement moyen.

L'enquête historique des parcelles doit être approfondie en 91 pour les raisons exposées précédemment.

Enfin, il paraît très profitable pour valoriser ce travail mené en collaboration avec 150 paysans, de concevoir un volet d'échange de connaissances paysans/chercheurs sur les thèmes de la fertilité, de l'intensification et l'optimisation des engrais, des itinéraires techniques permettant cette optimisation, en s'appuyant sur les exemples concrets des parcelles en expérimentation.

Bibliographie

BOIFFIN J., SEBILLOTTE M., 1982. Fertilité, potentialité, aptitudes culturales. Signification actuelle pour l'agronomie. Bull. Tech. Inf., 370-372 : 345-353 (numéro spécial "Fertilité du milieu et agriculture").

BOUROCHE J.M., SAPORTA G., 1980. L'analyse des données. Paris (FRA), PUF, 127 p.

BRABANT P., GAVAUD M., 1985. Les sols et les ressources en terres du Nord-Cameroun (Provinces du Nord et de l'Extrême-Nord). Bondy (FRA), ORSTOM, 285 p.

CRETENET M., 1990. Efficacité agronomique des engrais et amendements. Communication aux rencontres internationales "savanes d'Afrique, terres fertiles ?" Montpellier (FRA), décembre 1990. Actes à paraître.

LANGLAIS C., 1988. Rapport annuel 1987, Côte d'Ivoire. Paris (FRA), IRCT/CIRAD 82 p.

PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savane. Bilan de 30 ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Montpellier (FRA), CIRAD-IRAT, 444 p.

SNEDECOR G.W., COCHRAN W.G., 1971. Méthodes statistiques. 6^{ème} ed. Paris (FRA). Association de Coordination Technique Agricole. 649 p. Traduit de l'anglais par BOELLE H. et CAMHAJI E..

Rapports trimestriels SODECOTON pour la région ouest-Bénoué, 1990.